Transactions of the first Comission of the International Society of Soil Science.

Comptes rendus de la première Commission de l'Association Internationale de la Science du Sol.

Verhandlungen der Ersten Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft.

PHYSIQUE DU SOL

CONFÉRENCE

tenue au Centre National de Recherches Agronomiques de Versailles
du 2 au 5 juillet 1934
sous la présidence du Prof. G. W. ROBINSON

COMPTES RENDUS

DE LA

CONFÉRENCE

DE LA PREMIÈRE COMMISSION

(PHYSIQUE DU SOL)

TENUE

AU CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
DE VERSAILLES

(2-5 JUILLET 1934)

ASSOCIATION INTERNATIONALE DE LA SCIENCE DU SOL
INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE
INTERNATIONALE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT

COMPTES RENDUS

DE LA

CONFÉRENCE

DE LA PREMIÈRE COMMISSION

(PHYSIQUE DU SOL)

TENUE

AU CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
DE VERSAILLES

(2-5 JUILLET 1934)

Sous la Présidence du Professeur G.-W. ROBINSON.



PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

MDCCCCXXXIV

PRÉFACE.

The publication of the Proceedings of the First Commission of the International Society of Soil Science, held at Versailles, July 2-5, 1934, has been undertaken by the French Organising Committee. Towards the expense of such publication the International Society has made a grant in order that the volume may be distributed gratis to all members. The greater part of the cost, however, is borne by the French Organising Committee, who have thereby added to the great debt of gratitude which the Society owes them for the admirable arrangements which were made for the meetings at Versailles and for the memorable excursions and entertainments during and after the Conference.

My cordial thanks, as President of the First Commission, are due to Dr. Demolon. Through him the meeting at Versailles was first arranged. By this continued help and counsel the programme was carried to a successful completion. I wish to associate with Dr. Demolon, in my expressions of thanks, MM. Rey, Burgevin, Duriau, and the other colleagues at the Centre who gave such ready help.

Special thanks are due to MM. Raymond Berr and Lenglen who were responsible for the admirable organisation of the material and social side of the Conference. Finally, the generosity of the Société Commerciale des Potasses d'Alsace is gratefully remembered. With them the names of MM. De Retz and Bruno are associated in happy recollection of the excursion in Alsace.

G. W. Robinson,

Président de la première Commission.

LISTE DES PARTICIPANTS.

Allemagne.

Prof. Dr. F. Schucht, Berlin.
Oberbaurat O. Fauser, Stuttgart.
Prof. O. Eckstein, Berlin.
Dr F. Giesecke, Berlin.
Dr P. Krische, Stuttgart.

Angleterre.

Sir. E. J. Russell, Rothamsted.
Dr R. K. Schofield, Rothamsted.
Dr, G. W. Scott Blair, Rothamsted.
S. Nagelschmidt, Rothamsted.
Prof. G. W. Robinson, Bangor.
D. H. J. Page, Jealotts Hill.
A. H. Lewis, Jealotts Hill.
Dr L. Wolf, Londres.

Australie.

Prof. J. A. Prescott, Adelaïde.

Canada.

M. Prat, Montréal.

Espagne.

Prof. J. Marchesi, Madrid.

Hollande.

Dr D. J. Hissink, Groningen.
Dr S. B. Hooghoudt, Groningen.

Suisse.

Prof. E. Diserens, Zurich.

Tchécoslovaquie.

Prof. Dr V. Novak, Brno.
Ing. J. Spirhanzl, Prague.

U. R. S. S.

Prof. Dr A. A. Yarilow, Moscou.
Dr D. Vilensky, Kiew.

France.

MM. T. Ballu, Paris.
G. Barbier, Versailles.
E. Bastisse, Versailles.
J. Bordas, Avignon.
J. Bourdelle, Paris.
L. Bretignière, Grignon.
Ch. Brioux, Rouen.
A. Bruno, Mulhouse.
H. Burgevin, Versailles.
J. Carbonnel, Paris.
R. Cerighelli, Paris.
R. Chaminade, Versailles.
L. Chaptal, Montpellier.
G. Chevallier, Alger.
A. Demolon, Paris.
L. Depardon, Blois.
G. Drouineau, Versailles.
J. Duriau, Versailles.
J. Franc de Ferrière, Mulhouse.
J. Galland, Paris.
Gallayx, Paris.
J. Garola, Chartres.
L. Genevois, Bordeaux.
H. Geslin, Versailles.
J. Guerillot, Grignon.
S. Henin, Versailles.
G. Joret, Amiens.

MM. J. Lefèvre, Paris.
M. Lemoigne, Paris.
D. Leroux, Paris.
M. Lenglen, Paris.
G. Mathieu, Avignon.
A. Oudin, Nancy.
A. Piedallu, Alger.

MM. M. Porchet, Paris.
P. Potel, Versailles.
P. Rey, Paris.
P. Rolley, Paris.
H. Roseau, Alger.
G. Truffaut, Versailles.
V. Vincent, Quimper.

PROGRAMME.

Lundi 2 Juillet.

Matin. — 10 heures. Réception et inscription des personnalités. Réunion du Bureau.

Soir. — 14 heures. Séance préparatoire.

15 h. 30. Ouverture officielle. Discours de : 1° M. Préaud, Délégué du Ministre, Directeur du Génie rural; 2° Sir E. J. Russell, Président de l'Association; 3° Dr D. J. Hissink, Président adjoint et secrétaire général de l'Association; 4° Prof. G. W. Robinson, Président de la Première Commission; 5° Autres délégués étrangers.

16 h. 30. Thé d'honneur. Visite du Centre.

Mardi 3 Juillet :

Matin. — 9 h. 45. Séance de travail. Contributions et discussions sur l'analyse mécanique.

Soir. — 14 h. 30. Séance de travail. Contributions et discussions sur la structure du sol et sujets divers.

Mercredi 4 Juillet.

Matin. — 9 h. 45. Séance de travail. Contributions et discussions sur l'humidité du sol, la température du sol et sujets divers.

Soir. — 14 heures. Excursion dans la vallée de la Seine, dirigée par M. H. Richard, ingénieur agronome. Visite du puits artésien et des machines élévatoires de Bougival, des champignonnières et des cultures maraîchères irriguées de la vallée de la Seine.

20 heures. Dîner sur la terrasse de Saint-Germain.

Jeudi 5 Juillet.

Matin. — 9 h. 30. Visite du centre d'expérimentation de la Région du Nord sous la conduite de M. le prof. Bretignière, Directeur. Visite de l'École nationale d'Agriculture de Grignon. Réception par M. Bonafé, Directeur.

Soir. — 13 h. 30. Séance de clôture. Résolutions. Discours d'Oberbaurat Fauser, Dr D. J. Hissink, prof. G. W. Robinson.

15 h. 45. Départ pour l'excursion d'Alsace, organisée par M. A. Bruno, Directeur des Services scientifiques et agricoles de la Société commerciale des potasses d'Alsace.

VENDREDI 6 JUILLET.

Matin. — 8 heures. Réception par M. de Retz, Directeur Général. Visite des Mines domaniales de potasse. Examen des loess d'Alsace et des paléosols sous la conduite de MM. Bruno et Franc de Ferrière.

13 heures. Déjeuner aux Trois Epis.

14 heures. Excursion dans les Vosges.

Soir. — 20 heures. Dîner à Mulhouse offert par les mines de potasse.

SAMEDI 7 JUILLET.

Matin. — 8 heures. Visite de la Plaine d'Alsace, Colmar, Strasbourg (déjeuner).

Soir. — 14 heures. Visite aux laboratoires de Boussingault (Pechelbronn et Liebfrauenberg) sous la conduite de M. A. Bruno

SÉANCE DU 3 JUILLET

(MATIN : 9 H. 45)

Président : G. W. ROBINSON

Secrétaires : O. Fauser, R. K. Schofield, S. Hénin

ANALYSE MÉCANIQUE DU SOL

ET

QUESTIONS DIVERSES

THE DISPERSION OF SOILS
IN MECHANICAL ANALYSIS,

G. W. ROBINSON,

UNIVERSITY COLLEGE, BANGOR, N. WALES.

Co-operative work on dispersion was begun before the international Soil Conference at Rome in 1924 (1), on the initiative of Dr. Hissink. Since then, two schemes of co-operative work have been carried through, and were discussed at Rothamsted in 1926 (2), and at Leningrad in 1930 (3), respectively. The problem has assumed larger proportions through the extension of the work to divers soil types and through the development of new methods of dispersion.

At Rothamsted in 1926, it was decided to recognise two types of analysis, namely, the A-method in which the aim should be to secure dispersion into the prime particle structure, and the B-method in which, using a less rigorous dispersion, an approximation to the natural structure was to be secured. The former method appeared necessary for purely scientific purposes, whilst the latter method seemed more suitable as a basis for technical advice.

In the present report, attention will be directed principally to the A-method. In this method as prescribed by the Rothamsted meeting and confirmed at Washington in 1927, dispersion is effected by treating with 6 o/o hydrogen peroxide to destroy humus, and with hydrochloric acid to decompose carbonates and liberate exchangeable bases, washing to remove soluble matter, and dispersing in ammoniacal water with shaking.

It was found that the International A-method was not entirely satisfactory for certain types of soils, notably certain gypseous and alluvial soils of the Sudan. Further, alternative methods of dispersion, not involving the removal of carbonates and humus were proposed. Consequently, at the Prague meeting of the Ist. Commission in 1929, it was resolved to institute a further scheme of co-operative work, the results of which were to be considered at the 2nd International Congress of 1930, in Russia. A wider range of soils than in the earlier schemes was used and the suggested methods included, in addition to the A and B methods, the Sudan method (decantation with dilute sodium carbonate after puddling), the Puri method (using the sodium-soil), an the Sokolovski method (using the ammonium-soil).

The data obtained were discussed at Leningrad in 1930 in a report presen-

ted by Dr. V. Novàk(3). It was, of course, impossible to make a strict comparison between the A-method and the other methods since these did not involve the removal of carbonates and humus. Further, whilst some institutions used the pipette method of analysis, others used sedimentation. Certain general conclusions appeared justifiable.

In general, the highest results were given by the A-method with decantation analysis. Where the pipette technique was used, unsatisfactory results were obtained with two soils, one a gypseous soil and the other an alluvial soil from the Sudan. The agreement between results from different institutes was not so satisfactory as might have been expected, even when the same technique was employed. Considering the results for individual soils, decantation analyses showed closer agreement than pipette analysis, probably owing to incomplete elimination of electrolytes in the preliminary treatment for the latter method. The results by the B-method were generally lower, but this was to be expected since complete dispersion was not sought.

No actual plans for future work were made at Leningrad. Although the International A-method had not proved completely satisfactory it was thought desirable to retain it as a provisional method. The opinion was expressed that it might prove impossible to devise a method which would be satisfactory for all soils. The need for further work was emphasised.

The International A-method is by no means universally adopted, even by those workers who aim at complete dispersion. In Great Britain and in the greater part of the British Empire, however, the method is, with some modifications, in general use.

Shortly before the Leningrad Congress in 1930 the question of dispersion in mechanical analysis was raised by the Imperial Bureau of Soil Science and arrangements were made for an investigation of methods over a large range of soils from all parts of the British Empire. Representative soils from other countries were also obtained for comparison : One hundred and eighteen samples — including, so far as possible, every type of soil likely to occur — were examined. The results are published in Technical Communication No. 26 of the Imperial Bureau of Soil Science(4).

Preliminary experiments had shown the superior efficiency of sodium hydroxide over ammonia as a dispersing agent, It was decided to adopt as the criterion of complete dispersion the amount of clay obtainable by decantation following dispersion by H^2O^2-HCl-NaOH. In the first series of experiments the following methods were used.

A. International Method-A. Pipette Analysis.

B. International A-Method. NaOH substituted for ammonia. Pipette analysis.

C. Sudan Method. Decantation.

D. Puri method. Pipette.

E. International-A. NaOH modification. Decantation.

The following results were obtained with 10 soils, 6 of which belonged to the series used for the co-operative work of commission I mentioned above.

SOIL.	ORGANIC CARBON.	PERCENTAGE CLAY < 0.002 mm. BY METHOD				
		A	B	C	D	E
Rendzina-Brno	1.75	66.5	65.5	63.65	65.5	64.9
Alluvium-Brno	0.83	30.7	32.4	32.05	31.25	32.25
Szik-Budapesth	1.66	33.55	37.70	32.4	37.7	37.7
Podsol-Zagreb	2.34	31.35	32.5	27.0	25.6	32.05
Khartum-Gezira	0.41	51.0	66.15	62.3	66.4	65.5
Alluvial-Kassala	0.75	36.2	53.7	55.65	50.1	53.3
Red Loam-Natal	4.40	64.85	65.85	57.5	21.25	65.8
Brown Earth-Anglesey	4.27	33.25	35.25	20.9	18.9	33.9
Brown Earth-Caernarvon	6.74	22.05	22.40	14.0	4.7	22.85
Brown Earth-Glamorgan	11.87	20.0	21.1	6.1	3.6	21.3

It was evident that the Puri and Sudan methods failed badly with soils containing much organic matter. On the other hand the International A-Method with the *substitution of sodium hydroxide (0,008 N) for ammonia* appeared to give complete dispersion, even with the pipette method. It was also found that a much shorter shaking period could be used.

A large series of comparisons was therefore carried out on all available soils, the three methods used being International-A, with pipette sampling, International-A, NaOH modification, with pipette sampling, International A-method with sedimentation, using 0,008N NaOH for the first and 0,004n NaOH for subsequent decantations, collecting and weighing the clay after flocculation with minimal addition of calcium chloride. In many of the comparisons, the clay was also obtained by difference. Good agreement was shown with the clay by direct weighing. The results of 104 comparisons of the International-A NaOH method, using pipette analysis, with the same dispersion using sedimentation analysis showed close agreement between the two methods. In 62 cases the differences were less than 1 o/o, in 26 cases 1-2 o/o, in 12 cases 2-3 o/o, the maximum difference being 4-5 p. o/o (in favour of the pipette method) in the case of a Nigerian soil.

The International A-method gave satisfactory results for podsolic soils, brown earths, black earths, prairie soils, red loams and red earths, but unsatisfactory results with gypseous soils and certain very heavy raw clays. Highly gypseous soils present difficulties, even with the NaOH modification of the

International A-method. These may be obviated by removing coarse gypsum before acid treatment, using stronger (0,5N) hydrochloric acid, and washing with ammonium acetate.

Oxidation with peroxide appears necessary with all soils containing more than about 1 o/o of organic carbon (2 o/o organic matter). By including a preliminary boiling with water, satisfactory oxidation can be secured with dilute (2 o/o) peroxide.

Manganese dioxide may interfere with the peroxide attack, but can be removed by a preliminary boiling with dilute $NaHSO^3$ solution.

An examination of the sodium oxalate method of the U.S. Bureau of Soils(5) showed that good results could be obtained with most soils but that low results were given with lateritic soils.

The only soils which appeared to be unsuited to the International-A NaOH method were certain New Zealand volcanic ash soils rich in alumina. These soils could not be dispersed in an alkaline medium but dispersed in very dilute (0,002N) HCl.

Is is obvious that, where pipette technique is to be used, much more care must be taken to secure complete dispersion at one operation. The above investigation was designed to discover the best method of dispersion for pipette analysis. Some institutions, however, prefer the decantation method where large numbers of soils have to be dealt with. In this connexion the findings of V. Novak and P. Hrubes(6) should be considered. These authors, using the decantation method of analysis, conclude that the International-A NaOH method, and the sodium oxalate (American) method are to be preferred to other methods as giving the completest dispersion and requiring the smallest number of decantations for the removal of the clay fraction. The sodium oxalate method appeared to be slightly more economical of time than the International-A NaOH.

J. R. H. Coutts, who presents a paper to this meeting, has compared the International A-method, the International-A NaOH method, and the sodium oxalate method for Natal soils, using pipette analysis; he found that the International-A NaOH method was the most efficient. The sodium oxalate method did not prove satisfactory for all soils. It is to be noticed that the failure of this method was with soils of a lateritic type, which had also proved troublesome with sodium oxalate in the Bangor investigation.

From the results of the author's own investigations and from results obtained by other workers, it appears that a modification of the International A-method through the substitution of sodium hydroxide for ammonia can be recommended provisionally. Before final adoption it is desirable that the method should be tried by a number of institutions. It is therefore suggested that as many workers as possible should carry out determinations on typical

soils (a) by the International A-method (*b*) by the International A-NaOH method, and (*c*) by other methods aiming at complete dispersion [e.g. Sodium oxalate method (5), NaBrO method (7)]. It would be sufficient to determine the clay fraction (0,002 mm.) and if possible, analyses should be made both by pipette and by decantation technique. The results should be strictly comparable, giving the percentage carbonate-free humus-free clay calculated on the oven-dry soil. It is desirable that results should be collected in time for a report to be made at the meeting of the Commission in England in 1935.

With regard to the B-method it would be advantageous ot discuss what, if any, modifications are required and to draw up plans for any future work which may be necessary. If the aim of the B-methods is to obtain results which shall throw light on the actual field structure of soils, future work on this type of mechanical analysis should be closely correlated with work now proceeding on soil structure. It might be advantageous to examine different methods proposed for aggregate analysis (e. g. methods of Tjulin, Demolon, and Hénin).

NOTES.

(1) Vorbereitung der Bodenproben zur mechanische Analyse. R. Ganssen, D. J. Hissink, V. Novák, E. Ramann, G. W. Robinson and A. A. J. de Sigmond. Actes de la IVe Conference Internationale de Pedologie, Rome, 1924, Vol. II, 11-38.

(2) Minutes of Conference of Commission I, Rothamsted. 1926. Proc. 2nd. Int. Congr. Soil Sci., Leningrad, Moscow, 1930, Vol. I, 262-304.

(3) *a.* Minutes of Commission I. Proc. 2nd. Int. Congr. Soil Sci., Leningrad-Moscow 1930, Vol. I, XXIV-XXXI;

b. Preparation of Soil Samples for Mechanical Analysis. V. Novák, Proc. 2nd. Int. Congr. Soil Sci., Leningrad-Moscow, 1930. Vol. I, 14-39, 196-262.

(4) The Dispersion of Soil in Mechanical Analysis (G. W. Robinson and M. Richardson). Imp. Bureau of Soil Science, Technical Communication No. 26, 1933.

(5) L. B. Olmstead. U. S. Dept. Agr. Techn. Bulletin No. 170, 1930.

(6) Vergleichung Verschiedener Methoden der Vorbehandlung der Bodenproben zur mechanische Analyse nach der Bodentypen. V. Novák and P. Hrubes. Vestnik Ceskoslovenske Akademie Zemedelske, 1933, *9*, 19-25.

(7) Use of Sodium Hypobromite for the Oxidation of Organic Matter in the mechanical Analysis of Soils. E. Troell. J. Agric. Sci., 1931, *21*, 476-483.

APPENDIX.

Suggested Modification of International A-Method.

I. Ten grams of soil are oxidised with 6 p. 100 H^2O^2 as recommended in the International A-method.

Where much manganese dioxide is present a preliminary boiling with 50 c.c. water and 0,5-1,0 g. $NaHSO^3$ may be included.

II. After peroxide treatment, the material is at once washed through the 0,2 mm. sieve to remove coarse sand, which may be treated with dil. HCl to remove carbonates or gypsum, if necessary.

III. The material passing the 0,2 mm. sieve is treated with 0,2 N HCl. Where much carbonate is present extra acid may be given. For gypseous soils the strength of acid may be increased to 0,5N.

IV. After standing with acid for one hour with frequent shaking, the material is washed on to a Buchner funnel fitted with a hardened filter paper, and connected to a filter pump. After the first filtrate has passed, three washing of 25-30 c.c. water are given (A). If gypsum is present, two or three 100 c.c. washings with 10 o/o ammonium acetate may first be given, to remove sulphates, finishing with water washing.

V. The material is removed from the Buchner funnel with the aid of a jet of hot water and transferred to a 500 c.c. milk bottle. Four c.c. of N. NaOH are added and sufficient water to make up to 350-400 c.c.

VI. The bottle is then shaken for 2 hours in a reciprocating shaker or for 6 hours on a rotary shaker.

VII. The contents of the bottle are transferred to a 500 c.c. cylinder for pipette analysis, or to a 600 c.c. beaker for decantation analysis.

VIII. In the acid filtrate from the washing (A) sesquioxides are determined and added to the figure for clay.

SUMMARY.

Co-operative work on the dispersion of soils for mechanical analysis has been in progress since 1924. It was agreed at Rothamsted in 1926 and confirmed at Washington in 1927 that two methods should be adopted, namely, the A-method in which complete dispersion is to be attained; and the B-method, in which the aim is the preserve the natural soil structure.

The International A-method, involving treatment with 6 o/o H^2O^2 and 0,2 N. HCl, followed by dispersion in ammoniacal water, has not proved satisfactory for all soils. Various modifications have been proposed, including the substitution of sodium hypobromite for hydrogen peroxide, with ommission of acid treatment, substitution of sodium oxalate for ammonia, and substitution of sodium hydroxide for ammonia.

The writer has found the modification of the International A-method by substitution of sodium hydroxide for ammonia to be satisfactory for a large range of soils and recommends that this modification should be provisionally adopted. It is suggested that comparisons should be made for consideration at the 1935 meeting.

Further work is suggested in the B-method. This should be linked up with work on Soil Structure.

QUELQUES REMARQUES

SUR

LA MÉTHODE DE L'ANALYSE MÉCANIQUE DU SOL,

PAR

D. J. HISSINK,

INSTITUT ROYAL DE LA SCIENCE DU SOL. — GRONINGUE, PAYS-BAS.

Toute méthode analytique pour la détermination de la composition mécanique d'un sol débute par un traitement préalable de l'échantillon en question. Pour l'analyse des sols néerlandais, l'Institut de la Science du Sol de Groningue suit la méthode internationale A (voir comptes rendus de l'Association internationale de la Science du Sol, volume IV, 1929, n° 3, p. 216-218), qui consiste en un traitement au moyen de l'eau oxygénée et de l'acide chlorhydrique, avec une peptisation ultérieure des particules fines (fraction I), au moyen de l'ammoniaque. A la demande du Président de la Première Commission internationale de l'Association internationale de la Science du Sol, le professeur Dr G. W. Robinson, Bangor (Pays de Galles, Angleterre), une enquête a été ouverte au sujet de la question du remplacement de l'ammoniaque par une solution de soude caustique (NaOH). Les réactifs suivants ont été examinés :

a. Une solution d'ammoniaque 0.1 normale;

b. Une solution d'ammoniaque 0.15 normale environ, plus de la soude 0.01 normale; cette solution, qui, actuellement, sert couramment à l'Institut de Groningue, est obtenue en ajoutant, à l'eau de la distribution de la ville, l'ammoniaque et la soude nécessaires pour la précipitation des sels de Ca et de Mg contenus dans cette eau;

c. Une solution de soude caustique 0.004 normale.

Pour la préparation des solutions *a* et *c* on s'est servi d'eau distillée.

Ont fait l'objet de la présente étude les six échantillons qui, à la fin de l'année 1929, ont été distribués aux instituts par le Président de la Première Commission internationale d'alors, le professeur Dr V. Novàk, Brno. Un rapport sur l'analyse internationale de ces échantillons a été publié dans les

Proceedings and Papers of the Second International Congress of Soil Science, Leningrad-Moscow, USSR, July 1930, volume I, pages 16-40. A cette série est ajoutée, comme septième échantillon, une terre argileuse très forte des environs de Schildwolde (province de Groningue, Pays-Bas). C'est un dépôt très ancien du Dollard, exempt de carbonate de chaux. Les teneurs en carbonate et en humus telles qu'elles figurent dans le tableau I, ont été déterminées à l'Institut de la Science du Sol à Groningue. Comme il ressort de la publication de Novàk (p. 39, tableaux 11 et 12), les résultats des analyses parallèles, surtout pour ce qui regarde l'humus, diffèrent beaucoup d'un institut à l'autre. A Groningue, le carbonate de Ca a été déterminé en traitant l'échantillon à froid avec de l'acide chlorhydrique dans l'appareil Passon. La teneur en humus est obtenue en multipliant la teneur en carbone élémentaire par le facteur 1.724, et le carbone lui-même est obtenu au moyen de l'analyse élémentaire*. Enfin la colonne des substances minérales résulte du calcul suivant : 100 — ($CaCO^3$ + humus).

La dispersion des particules, opération préliminaire à l'analyse mécanique, est effectuée à Groningue en chauffant l'échantillon avec de l'eau oxygénée à 20 p. 100 et en le faisant ensuite bouillir avec de l'acide chlorhydrique 0.05 normal (normalité finale). Ce procédé, qui diffère quelque peu de la méthode internationale A (H^2O^2 6 p. 100 et HCl 0.05 normal à froid), fournit cependant des résultats assez concordants, comme l'inspection du tableau II permet de le constater.

Les résultats de la dernière colonne (63.9 — 31.6 — 33.9 — 32.7 — 63.9 — 53.5) sont obtenus en diminuant nos chiffres marqués «Groningue» dans la publication de Novàk (voir ses tableaux aux pages 31-36) de la somme des teneurs en $CaCO^3$ + humus. Ainsi, pour l'échantillon n° 1 (Bruo-Rendzina), Novàk mentionne sous la rubrique «Groningue» (tableau I, p. 31) le chiffre 69.9 qui indique la somme de la fraction 1 + $CaCO^3$ + humus. A notre Institut nous avons trouvé pour cet échantillon une teneur en $CaCO^3$ + humus égale à 2.7 + 3.3 = 6.0 p. 100. La teneur en fraction I est donc 69.9 — 6.0 = 63.9 p. 100. C'est ce chiffre qui figure dans la dernière colonne du tableau II. Comme on le voit, la concordance entre les résultats de la deuxième et de la troisième colonne de ce tableau est très satisfaisante.

---

* Voyez : Die Bestimmung der gesammten organischen Substanz des Bodens von Ir. C. Spithost, Comptes rendus de la deuxième Commission internationale de la Science du Sol, volume A, Kjøbenhavn, 1933, pages 113-118. Voir aussi : Humusgehalten in verschillende typen grond, bij aanwending van verschillende methoden verkregen door Dr. D. J. Hissink en Ir. C. Spithost; Verslagen Rijkslandbouwproefstations, n° 38 B (1932).

TABLEAU I.

N°.	ORIGINE (1).	NUMÉROS de L'INSTITUT de GRONINGUE.	TENEURS EN 0/0 DANS LA MATIÈRE SÈCHE.		
			$CaCO^3$.	HUMUS (2).	MATIÈRES minérales (3).
1	Tchécoslovaquie	3223	2.7	3.3	94.0
2	*Idem*	3224	0.5	1.6	97.9
3	Hongrie	3225	0	2.9	97.1
4	Yougoslavie	3226	0	4.3	95.7
5	Soudan	3227	4.2	0.8	95.0
6	*Idem*	3228	0	1.5	98.5
7	Groningue (Pays-Bas)	5688	0	3.7	96.3

(1) Les 6 premiers numéros représentent les échantillons soumis à l'analyse internationale (voir les comptes rendus du deuxième congrès, Leningrad-Moscou, 1930, volume I).
Le n° 7 représente un dépôt ancien très argileux du Dollard (Province Groningue).

(2) Humus = 1,724 × teneur en carbone (C); celle-ci déterminée au moyen de l'analyse élémentaire.

(3) La teneur totale en matières minérales est calculée comme suit : 100 − ($CaCO^3$ + humus).

TABLEAU II.

Teneurs en fraction I (particules plus petites que 0.016 millim.) de la matière sèche exprimées en pour cent.

ÉCHANTILLON N° (VOIR TABLEAU I).	PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON d'après	
	LE PROCÉDÉ DE GRONINGUE (voir aussi le tableau III).	LA MÉTHODE INTERNATIONALE A.
1	64.7	63.9
2	32.4	31.6
3	34.3	33.9
4	32.7	32.7
5	64.3	63.9
6	52.8	53.5

Après attaque à l'H^2O^2 et à l'HCl, la matière à analyser a été transvasée dans les cylindres d'Atterberg, et on a décanté la fraction I d'abord au moyen de l'eau distillée, pour écarter les électrolytes, et ensuite avec les solutions *a*, *b* et *c* mentionnées ci-dessus. En 1930 le siphonage a eu lieu dans l'après-midi

sur une colonne de liquide de 10 centimètres de hauteur, après un repos de 8 heures, et dans la matinée sur une colonne de 20 centimètres après 16 *heures. En 1933 nous avons opéré sur une colonne de 30 centimètres de hauteur et après 24 heures. La deuxième colonne du tableau III indique le* nombre de siphonages nécessaires pour l'enlèvement complet de la fraction I.

Après élimination de cette fraction I, la fraction II a été ensuite enlevée au moyen de l'eau ordinaire et cela sur une colonne de liquide de 30 centimètres de hauteur après un repos de 22 minutes et demie. Ce siphonage sépare toutes les particules plus petites que 0.016 millimètres d'après la formule de Stokes :

$$v = 34720\, r^2.$$

Cette fraction II (0.002 – 0.016 millim.) a été recueillie, séchée à 105 degrés C et pesée. Le restant du cylindre : particules plus grandes que 0.016 millimètres de diamètre, ou sable proprement dit, a été traité de la même façon et enfin la fraction I est calculée par différence :

$$100 - (CaCO^3 + \text{humus} + \text{fraction II} + \text{sable}).$$

Voir l'ensemble de ces données au tableau III.

Un coup d'œil sur ce tableau nous apprend immédiatement que l'emploi des trois réactifs *a*, *b*, *c*, donne indifféremment des résultats très concordants dans cinq cas sur sept. Il n'en est plus de même avec les échantillons n°s 5 et 6 qui donnent avec le liquide *a* des chiffres sensiblement inférieurs à ceux obtenus avec les liquides *b* et *c*. Comme il résulte des chiffres obtenus en 1930 avec le réactif *a*, il est cependant possible d'obtenir des teneurs en fraction I aussi élevées qu'avec les réactifs *b* et *c* pour les sols n°s 5 et 6 à condition de les siphoner un très grand nombre de fois avec l'ammoniaque. Toutefois, les chiffres du tableau III, *a*, semblent indiquer que même après ce long siphonage la peptisation complète n'est pas atteinte.

Pour ce qui regarde le réactif *b*, il donne pour la fraction I des résultats qui sont, pratiquement, aussi élevés qu'avec le réactif *c* même dans le cas des sols n°s 5 et 6. Ceux-ci cependant doivent être traités plus longtemps avec le réactif *b* qu'avec le réactif *c*.

Comme conclusion de ce qui précède, on peut dire que le réactif *c* (0.004 soude normale) est à préférer au cours du travail avec les cylindres d'Atterberg, tout en retenant que le réactif *b* est utilisable pour l'analyse des terres considérées.

Enfin, il est bon d'appeler l'attention sur le point suivant. La plus grande

TABLEAU III.

Pourcentage en substances minérales présentes dans la matière sèche.

N°'.	FRACTION I.	NOMBRE DE SIPHONAGES.	FRACTION II.	FRACTION I + II.	SABLE.	FRACTION I.	NOMBRE DE SIPHONAGES.	FRACTION II.	FRACTION I + II.	SABLE.	FRACTION I.	NOMBRE DE SIPHONAGES.
	Fraction I décantée au moyen de l'ammoniaque décinormale.											
	Série novembre 1933.					Série mars 1933.					Série 1930.	
1	63.7	15	19.3	83.0	11.0	65.5	9	18.5	84.0	10.0	64.7	10
2	30.7	15	25.6	56.3	41.6	32.7	9	24.9	57.6	40.3	32.4	10
3	33.1	14	22.8	55.9	41.2	34.7	9	22.1	56.8	40.3	34.3	9
4	31.9	15	29.0	60.9	34.8	33.7	9	27.4	61.1	34.6	32.7	10
5	54.6	30	19.5	74.1	20.9	57.8	17	18.8	76.6	18.4	64.3	18
6	48.3	30	41.2	89.5	9.0	50.4	17	39.9	90.3	8.2	52.8	18
7	39.9	14	25.0	64.9	31.4	41.6	9	24.1	65.7	30.6		
	Fraction I décantée au moyen de l'ammoniaque 0,15n — 0,01nNaOH.											
	Série novembre 1933.					Série mars 1933.						
1	63.4	15	19.5	82.9	11.1	64.3	9	19.0	83.3	10.7		
2	30.8	13	25.8	56.6	41.3	31.6	9	24.8	56.4	41.5		
3	34.0	13	22.7	56.7	40.4	34.0	9	22.2	56.2	40.9		
4	32.3	13	27.7	60.0	35.7	32.3	9	27.7	60.0	35.7		
5	63.2	15	12.4	75.6	19.4	63.7	14	12.7	76.4	18.6		
6	51.1	20	38.8	89.9	8.6	52.2	14	38.1	90.3	8.2		
7	40.4	13	23.8	64.2	32.1	41.2	9	21.6	62.8	33.5		
	Fraction I décantée au moyen de la soude 0,004 normale.											
	Série novembre 1933.											
1	64.7	13	18.6	83.3	10.7							
2	32.2	13	23.7	55.9	42.0							
3	35.4	13	21.8	56.9	40.2							
4	33.0	13	27.0	60.0	35.7							
5	65.1	13	11.1	76.2	18.8							
6	55.3	16	35.2	90.5	8.0							
7	41.5	13	23.2	64.7	31.6							

La fraction I renferme les particules de diamètre inférieur à 0,002 millimètres; la fraction II celles de 0,002 à 0,016 millimètre. Le sable est représenté par les particules plus grandes que 0,016 millimètre. La rubrique «nombre de siphonages» indique le nombre de 24 heures nécessaires pour enlever complètement la fraction I.

différence entre le réactif *a* et *c* se manifeste dans leur application à l'échantillon n° 5 :

	LIQUIDE *a*.	LIQUIDE *c*.	DIFFÉRENCE.
Fraction I	54.6	65.1	+ 10.5
Fraction II	19.5	11.1	— 8.4
Sable	20.9	18.8	— 2.1
TOTAL	95.0	95.0	

L'action plus efficace du réactif *c* semble donc consister en une peptisation plus complète surtout des agrégats de particules très fines, plus petites que 0.016 millimètre.

II

Une documentation très étendue rassemblée au cours des années à l'Institut de la Science du Sol à Groningue nous a appris que l'emploi des cylindres d'Atterberg pour la détermination de la fraction I (particules plus petites que 0.002 millim.) et de la fraction II (particules plus petites que 0.016 millim.) fournit des résultats très comparables entre eux. En outre, même la portion composée de particules plus petites que 0.076 millimètre de diamètre peut encore très bien se déterminer au moyen de ce cylindre. Il n'en est plus de même pour les grains de diamètre supérieur. D'ailleurs, pour ces particules-là, l'appareil lévigateur de Kopecky n'est pas davantage utilisable comme le prouvent mes résultats publiés dans les *Recherches sur le Sol*, volume III (1932), n° 2, pages 72-73 (II), que je reproduis ci-contre. Il s'agit d'un sol sablonneux avec une teneur totale en sable proprement dit (particules plus grandes que 0.016 millim.) égale à 97.4 p. 100.

Pour contrôle, les dimensions des particules ont été déterminées au moyen du microscope. Il a été établi ainsi que la fraction 38.6 p. 100 en *a*, et la fraction 45.5 p. 100 en *b* étaient en réalité composées principalement de particules de dimension 152 à 2.000 μ. Même la fraction 19.4 p. 100 en *c*

TABLEAU IV.

ÉCHANTILLON No. Win 460. MÉTHODE D'ANALYSE.	FRACTION (DIAMÈTRE EN 0.001 MILLIM.)			
	16-76.	76-152.	152-2.000.	16-2.000.
a) Décantation dans les cylindres d'Atterberg...	1.1	38.6	54.7	97.4
b) Avec de l'eau courante dans les cylindres de Kopecky........................	2.5	45.5	49.4	97.4
c) A l'aide des tamis......................	1.8	19.4	76.2	97.4

contenait encore un certain pourcentage de particules plus grandes que 0.152 millimètre de diamètre.

III

Les considérations qui précèdent nous ont amené à effectuer la séparation des particules plus grosses que 0.076 millimètre au moyen d'un tamisage approprié. A cet effet, après l'enlèvement de la fraction II, le contenu du cylindre est recueilli, séché et tamisé. Nous employons le système de tamis « Ro-Tap testing sieve shaker » de la firme W. S. Tyler Company, Cleveland, Ohio (U. S. A.). Durée du tamisage : 20 minutes. Primitivement le tamis inférieur, le plus fin donc, comportait des mailles de 0.074 millimètre d'ouverture de sorte qu'il laissait tomber dans la soucoupe les particules de 0.016 à 0.074 millimètre de diamètre. Au cours de nos recherches, il nous a semblé utile de subdiviser cette fraction, et nous avons ajouté à notre système de tamis celui de 0.043 millimètre de diamètre des mailles, livré également par la firme Tyler.

Au moyen de deux séries de tamis composées comme nous venons de voir, et numérotées I et II, il a été exécuté à l'Institut de Groningue, durant les années 1931-1933, un grand nombre d'analyses mécaniques de sols sableux. Pour contrôler le fonctionnement régulier de ces tamis, nous avons conservé trois échantillons de sable : B 5172, B 5173 et B 5168 que nous passons périodiquement, chaque mois, à travers les séries I et II, de sorte que l'Institut dispose actuellement d'une série de 18 résultats-contrôle pour chacun des trois échantillons mentionnés, et cela au moyen de chacun des deux systèmes de tamis. La concordance de ces 18 résultats est très satisfaisante comme on le voit au tableau V, où sous la rubrique *Ia* et *Ib* sont réunis les résultats les

TABLEAU V.

Teneurs en sable (particules plus grosses que 0,016 millim. de diamètre) de la matière sèche, exprimées en pour cent; les limites des sous-fractions sont indiquées en millièmes de millimètre.

Échantillon de la collection Groningue n° B 5172.

SYSTÈME DE TAMIS EMPLOYÉ.	LIMITE DES SOUS-FRACTIONS.							
	16-43.	43-74.	74-104.	104-147.	147-208.	208-295.	295-589.	TOTAL.
Ia.	13.8	34.6	25.5	10.3	4.1	1.0	0.3	89.2
Ib.	14.7	39.0	22.3	8.4	3.6	1.1	0.3	89.4
I 18.	14.6	36.2	24.4	9.4	4.0	1.1	0.3	90.0
IIa.	14.1	38.5	22.0	9.0	4.7	1.0	0.4	89.7
IIb.	14.2	43.6	18.8	7.6	4.6	1.1	0.5	90.4
II 18.	14.5	40.9	20.8	8.0	4.5	0.9	0.3	89.9

SYSTÈME DE TAMIS EMPLOYÉ.	LIMITE DES SOUS-FRACTIONS.							
	16-43.	43-74.	74-104.	104-147.	147-208.	208-295.	295-589.	TOTAL.
III.	14.9	27.7	30.5	10.1	4.1	2.3	1.0	90.6
IV.	11.0	26.4	32.8	10.7	4.3	2.4	3.2	90.8
V.	8.9	28.8	34.0	12.2	5.0	1.7	0.3	90.9
VI.	6.6	30.5	34.6	12.4	4.2	1.0	0.7	90.0
Moyenne de I — II.	14.6	38.5	22.6	0.7	4.3	1.0	0.3	90.0
Moyenne de III-IV-V-VI.	10.3	28.4	33.0	11.3	4.4	1.9	1.3	90.6

Dans l'espace de 9 mois, l'échantillon B 5172 a passé 18 fois les séries de tamis I et II. Les deux résultats qui divergent le plus, figurent dans les deux premières lignes sous Ia et Ib et sous IIa et IIb. La troisième ligne (I 18 et II 18) donne la moyenne des 18 tamisages.

plus divergents pour l'échantillon B 5172 au moyen du système de tamis n° 1. La rubrique I 18 donne la moyenne des 18 résultats. Il en est de même pour le système de tamis n° 2. On voit que ces deux systèmes fournissent des résultats très concordants entre eux.

Au cours de nos travaux, nous avons pu constater que ce sont surtout les tamis fins qui ont à souffrir. Nous nous sommes donc procuré quatre séries de tamis supplémentaires, numérotées III, IV, V et VI dont les résultats avec l'échantillon B 5172 figurent dans la deuxième partie du tableau V.

On voit immédiatement que les tamis ayant un diamètre d'ouverture de 0.043 millimètre (dans la suite, tamis 43 tout court) des séries IV, V et VI laissent passer moins de sable que les tamis homologues des séries I, II et III (11.0 — 8.9 — 6.6 contre 14.6 — 14.5 — 14.9). En outre le tamis 74 des séries I et II laisse passer plus de matière que son homologue des séries III, IV, V et VI. Il est cependant curieux de constater que ces tamis 74 des séries I et II produisent des résultats qui sont, pratiquement, identiques entre eux. Il en est de même des tamis 74 des quatre séries III, IV, V et VI qui nous sont arrivés plus tard.

Les conclusions qui se dégagent de ces recherches sont les suivantes :

1° Chaque tamis donne des résultats pratiquement identiques entre eux;

2° La différence entre les résultats des séries de tamis obtenus en même

temps (séries I et II, séries III et IV et séries V et VI) n'est pas considérable, et en tout cas plus petite que celle des séries I + II, III + IV et V + VI entre elles;

3° Ces conclusions s'imposent encore plus nettement à l'examen individuel de chaque portion de sable.

J'incline à croire qu'il y a moyen de fabriquer des séries de tamis dont les résultats soient reproductibles entre eux, à condition d'employer une matière première uniforme.

Entre temps, il reste nécessaire de contrôler chaque série nouvelle de tamis au moyen de sols et de lots de sable standardisés.

Groningue, novembre 1933.

THE USE OF SODIUM OXALATE AND CARBONATE IN DISPERSING SOILS FOR MECHANICAL ANALYSIS.

BY

F. G. LOUGHRY* AND G. W. CONREY**.

INTRODUCTION.

The need for critical studies of the methods of pretreating soils for mechanical analysis has been emphasized by the findings of Commission I of the Second International Congress of Soil Science (5). The method of pretreatment and analysis outlined by Olmstead, Alexander, and Middleton (7) was suggested too late to be included in the cooperative studies headed by V. Novàk (6) and the sodium oxalate treatment which is a part of their method was tried by only three laboratories. This method has since become standard in the United States but critical studies to confirm the technique proposed by Olmstead and his coworkers have not been published. In the experiments on clay dispersion reported in this paper certain modifications have been made in the Bureau of Chemistry and Soils method where they have been justified to meet the needs of the Ohio laboratory. *The aim has always been to secure complete dispersion to the ultimate unit soil particles.* With this in view the amount of clay 2μ in diameter has been the most important measure of the efficiency of a treatment.

The studies presented here center about the determination of the amount of sodium salt which must be added to a soil suspension to secure complete dispersion, the comparative effectiveness of $Na^2C^2O^4$ and Na^2CO^3 for this purpose, and the use of HCl and H^2O^2 singly or in combination to prepare the soil for dispersion by the sodium salt. In connection with these principal points several questions of technical importance in the procedure have appeared and have been investigated. Among these are the uniformity of sampling, the method of washing soluble salts from the soil samples, and the time that is allowed to elapse between the first preparation of the sample and the determination of the clay content.

(*) Formerly Assistant in Agronomy, Ohio Agricultural Experiment Station, Wooster. Ohio.

(**) Associate in Agronomy, Ohio Agricultural Experiment Station, Wooster, Ohio.

Experimental Procedure.

All determinations started with air dry soil which had passed a 2 mm. sieve. Ten gr. samples of this soil weighed on a torsion balance accurate to 0.005 gr. were used for all determinations except as otherwise noted. The clay content was stated as percent of soil dried at 105° C., the moisture determinations having been made on other samples. Samples treated with HCl or H^2O^2 were allowed to stand overnight in contact with the solutions before being dispersed with the sodium salt and mechanical stirring. When H^2O^2 was used it was driven off by boiling. HCl was washed out by centrifuging with successive portions of distilled water. The soil was then dispersed by the addition of a quantity of the sodium salt as indicated in each experiment and enough water to make the total volume at least 150 cc., and stirring in a square 250 cc. bottle with a mechanical stirrer of the type described by Bouyoucos (2). This stirring was for 15 minutes unless otherwise noted and was carefully timed as some grinding occurs, especially of partly weathered shale fragments. Samples which were not treated with H^2O^2 or HCl were allowed to stand in contact with the solution for some time before stirring. Heavy clays were soaked overnight in distilled water before being dispersed. After stirring the samples were washed into cylinders 4.5 cm. in diameter and made up to 500 cc. of solution plus the volume of the soil. These cylinders were set in a water bath which held temperature fluctuation within a 1 or 2° C. range during a single set of determinations and thereby protected the soil suspensions against connection currents. The cylinders were allowed to stand in this bath overnight and then the soil which had settled to the bottom was resuspended by stirring for two minutes with a perforated rubber piston.

The pipette method was used for all determinations of clay. Aliquot samples were taken with 25 cc. pipettes from a depth of 10 cm. below the surface of the suspension in the sedimentation cylinders. The times of sampling were calculated from Stokes Law and samples were withdrawn corresponding to an effective diameter of 5 μ as the upper limit of the first sample and 2 μ as the upper limit of the second sample. The time of taking the first sample was about one hour after stirring and the second after about eight hours. These times varied somewhat depending upon the temperature of the water during the determination. In the later studies the pipettes were lowered into the suspension by the sampling devise described by Shaw (9) and filled by the constant suction of an aspirator bottle. In the earlier studies the pipettes were lowered through a hole in a thin stopper supported on a board laid across the top of the cylinder from which the sample was to be withdrawn. When a mark 10 cm. from the tip of the

pipette reached the surface of the suspension the pipette was filled by oral suction applied through a rubber tube equipped with a pinchcock. A comparison of a large number of routine determinations failed to show a statistically significant increase in accuracy for the new and more convenient method and therefore all of the material presented in this paper may be considered comparable from the standpoint of pipette technique.

The aliquots withdrawn for clay < 5μ and clay < 2μ were in every case based on the delivery volume of the pipettes and the pipettes were washed and dried before the next determination. The aliquots were dried and weighed to 0.1 mg. in glass weighing bottles which were cleaned and weighed before each determination. A correction for $Na^2C^2O^4$ or Na^2CO^3 was applied by assuming that the amount of the reagent added was still uniformly distributed throughout the suspension and subtracting the weight of an aliquot fraction from the weight of the dried aliquot sample. This assumption is probably somewhat erroneous especially in the case of $Na^2C^2O^4$, and further studies are needed to determine the proper correction to apply.

When a complete mechanical analysis by this method was desired the suspension was washed out of the sedimentation cylinders into a 300 mesh to the inch sieve (0.05 mm. openings) and washed with a jet of distilled water until very little silt came through with a 50 cc. portion of water. The sand was then dried and weighed and sieved with the standard sieves of the Bureau of Chemistry and Soils. Silt was not determined directly but was calculated by subtracting the sum of the sand > 0.05 mm. and the clay < 5μ from the total weight of dry soil, these diameters being the size limits of silt in the American classification. This contrasts with the Bureau of Chemistry and Soils method in not removing the sand before the clay determinations and in omitting the determination of total material in suspension at the start of sedimentation. By this omission certain technical difficulties are avoided and a considerable amount of work is eliminated in a study of this kind where it is not necessary to determine silt and sand in every sample.

Preliminary Experiments on Methods.

It became apparent early in these studies that the greatest source of error was the difficulty of obtaining exactly comparable 10 gr. samples of the soil which passed the 2 mm. sieve. Throughout all these experiments the procedure of sampling was to empty the whole sample from the storage jar on a piece of glazed paper and mix it thoroughly by rolling it back and forth on the paper, ending with the soil in a low mound in the center, and then transferring about 10 gr. to the balance pan at one operation with a spatula. Fine adjustment of the weight was obtained by adding or removing a small

amount of soil with the spatula. These precautions were applied to the weighing of six replicate 10 gm. samples of a heavy clay soil which were treated exactly the same as to amount of $Na^2C^2O^4$ added, and time of stirring, and the clay contents determined as accurately as possible. The results are given in Table 1. The weight of clay < 5μ in a 25cc. aliquot is given in the second column, the percent of the total soil which this represents is given in the third column, and the deviation from the mean is given in the fourth column. Columns 5, 6, and 7 give the same data for clay < 2μ and the ratio between clay < 5μ and clay < 4μ is given in the eighth column.

TABLE 1. — Magnitude of Sampling Errors.

Sample No.	Grams clay < 5μ in 25 cc aliquot.	Percent clay < 5μ.	Deviation from mean.	Grams clay < 2μ in 25 cc aliquot.	Percent clay < 2μ.	Deviation from mean.	Ratio Clay < 5μ / Clay < 2μ
1	.3719	78.8	–.35	.3260	69.1	–.50	1.14
2	.3742	79.3	+.15	Lost.	–	–	
3	.3702	78.5	–.65	.3294	69.8	+.20	1.12
4	.3729	79.0	–.15	.3271	69.0	–.60	1.14
5	.3760	79.7	+.55	.3310	70.1	+.50	1.14
6	.3757	79.6	+.45	.3310	70.1	+.50	1.14

Probable error for a determination of clay < 5μ = 0.19 % clay.

Probable error for a determination of clay < 2μ = 0.24 % clay.

The uniformity of the results shown in the last column of Table 1 suggest that the ratio $\frac{\text{Clay} < 5\mu}{\text{Clay} < 2\mu}$ is a better measure of the degree of dispersion than the total amount of either size group expressed in percent. In view of these results this ratio is included in all of the tables presented in this paper, and a sample which shows a ratio significantly higher than other samples of the same soil is regarded as being incompletely dispersed.

It was found inconvenient to use the method of washing on Pasteur-Chamberlain filters recommended by Olmstead and his coworkers for the removal of soluble salts after HCl treatment, and in routine work the soil samples in dilute HCl were transferred to 250 cc. centrifuge bottles and centrifuged for 5 minutes with a force of about 600 times gravity. Then the supernatant liquid was decanted, the soil resuspended in 100 cc. of distilled water, and again centrifuged for 5 minutes. Decantation was repeated and the suspensions again made up to 100 cc. It was then centrifuged for 10 minutes, the liquid decanted and the samples transferred to square bottles for dispersion with a sodium salt. This procedure was based on the following data obtained with eight samples of a fairly heavy subsoil treated with N/10 HCl

and the acid removed by centrifuging and decanting and then washing pairs as indicated in the first column of Table 2. After the washing, the soil was dispersed and the clay content determined by the procedure described above.

TABLE 2. — EFFECT OF REPEATED WASHING ON CLAY CONTENT.

WASHED WITH DISTILLED WATER.	CONDITION OF LAST WASH WATER.	Clay $< 5\mu$ in diameter.	Clay $< 2\mu$ in diameter.	$\frac{\text{Clay} < 5\mu}{\text{Clay} < 2\mu}$	Cc OF N/10 ALKALI TO NEUTRALIZE 100 cc of lost wash water.
Once, ...	Clear..........	*42.7	33.7 ± .1	1.26	3.4
Twice..........	Clear..........	42.9 ± .1	33.5 ± .0	1.28	1.4
Three times.....	Turbid..........	43.1 ± .6	33.9 ± .2	1.27	.2
Four times ..	Very turbid.....	41.4 ± .4	32.5 ± .2	1.27	.2

* One sample lost.

The question as to whether a sample of soil would remain dispersed if it were stirred with the mechanical stirrer and then allowed to stand for some time before it was diluted and the clay determined was investigated as follows. Six samples of one soil were carefully weighed out and treated with amounts of $Na^2C^2O^4$ just equivalent to the total exchange capacity of the soil, and enough distilled water to bring the volumes of each sample to 150 cc. Two of these samples were stirred with the mechanical stirrer and allowed to stand for one week, two more were stirred on the sixth day, and the remaining pair were stirred just before they were transferred to the sedimentation cylinders. All of the samples were made up to volume, stirred with the perforated rubber piston and the amounts of clay $< 5\mu$ and $< 2\mu$ determined. No significant differences appeared in the clay contents and the data need not be reproduced here.

THE USE OF HCL AND H^2O^2.

Four 10 gr. samples of Paulding clay surface soil were treated with H^2O^2 as recommended by G.-W. Robinson (8) followed by 100 cc. of N/10 HCl, as a test of the effect of removing organic matter and calcium before dispersing the soil. Four other samples were treated with H^2O^2 alone and four received only the HCl treatment. Also four samples were soaked in distilled water as a check. Two samples from each group were dispersed by the addition of 10 cc. of 0.467 N. $Na^2C^2O^4$ and mechanical stirring. The others received 20 cc. of the $Na^2C^2O^4$. Table 3 presents the averages of the duplicate determinations and also the ratio $\frac{\text{Clay} < 5\mu}{\text{Clay} < 2\mu}$.

TABLE 3. — THE USE OF H^2O^2 AND HCl IN THE PREPARATION OF SOILS for Dispersion for Mechanical Analysis.

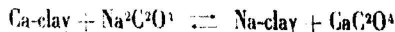
TREATMENT.	AMOUNT OF N/4 $Na^2C^2O^4$ used in Dispersing the soil.	Clay < 5μ in diameter.	Clay < 2μ in diameter.	$\frac{\text{Clay} < 5\mu}{\text{Clay} < 2\mu}$
H^2O^2 + HCl	10 cc	51.8 ± .3	40.8 ± 0	1.27
	20	54.0 ± .1	42.5 ± 0	1.26
H^2O^2	10	54.5 ± .1	43.2 ± .5	1.26
	20	56.8 ± .4	44.2 ± .4	1.28
HCl	10	56.6 ± .1	43.9 ± .7	1.29
	20	56.8 ± .3	43.8 ± .6	1.30
Distilled water	10	55.0 ± 0	38.8 ± .2	1.44
	20	55.0 ± 0	40.3 ± .3	1.37

Sand	13.0 %	N/10 HCl solution loss	2.7 %
Silt	30.4 %	Loss by H^2O^2 treatment	4.1 %
Moisture	3.2 %		

More total clay is found with the HCl treatment than with the H^2O^2 treatment as might be expected from the fact that this soil is quite high in organic matter, part of which is destroyed by the H^2O^2. On the other hand the ratio between the clays of different size limits indicate that complete dispersion is not attained without the destruction of a part of the organic matter. The difference between the results with H^2O^2 and HCl is so small that it loses significance for routine determinations. Table 3 also furnished some evidence on the amount of $Na^2C^2O^4$ which is necessary for complete dispersion. Better dispersion with the higher concentration of the salt is the rule and is especially marked when the preliminary treatment is omitted. This question is considered in more detail below.

THE USE OF $Na^2C^2O^4$ AND Na^2CO^3 IN SOIL DISPERSION.

The exchange complex in normal soils is dominated by the Ca^{++} ion and the reaction of such a soil with $Na^2C^2O^4$ may be written :



$$\text{Ca-clay} + Na^2C^2O^4 \rightleftharpoons \text{Na-clay} + CaC^2O^4$$

The calcium oxalate is practically insoluble, having a solubility product of 2.6×10^{-9} at 25° C. and the reaction tends to go toward the right. Bradfield (3) has found that Ca-clay furnishes about the same concentration of Ca^{++} ions in solution as CaC^2O^4. Consequently if $Na^2C^2O^4$ equivalent to the exchange capacity of the soil is added only about one-half of the Ca on

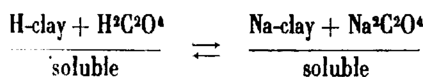
the clay is replaced. An excess of $Na^2C^2O^4$ of course drives the reaction further toward the right. If the soil is treated with Na^2CO^3, as proposed by Beam (1) and used by Joseph and Snow (4) for alkaline soils, the reaction is :



$$\text{Ca-clay} + CaCO^3 \rightleftarrows \text{Na-clay} + Na^2CO^3.$$

The solubility product of $CaCO^3$ is 8.7×10^{-9} at. 25° C. This suggests that the reaction will not proceed as far toward the right as the reaction Ca-clay + $Na^2C^2O^4$ does.

H^+ is the only cation to be considered in soils washed with N/10 HCl and the reaction with $Na^2C^2O^4$ may be written :



$$\frac{\text{H-clay} + H^2C^2O^4}{\text{soluble}} \rightleftarrows \frac{\text{Na-clay} + Na^2C^2O^4}{\text{soluble}}$$

The very soluble oxalic acid formed tends to keep the reaction from going very far toward the right, so that little replacement can be expected from the addition of $Na^2C^2O^4$ equivalent to the exchange capacity, but the data to be presented below indicate that dispersion is secured quite readily under these circumstances. This may be explained as the effect of a reducing action by which the oxalate dissolves cementing material in the acid soil, but this has not been investigated. *Indeed the whole question of what becomes of the oxalate ion added to a clay suspension, whether it is oxidixed, adsorbed, or precipitated, must be answered before the correction which should be made for oxalate in aliquot samples can be applied with confidence.*

The reaction between acid washed soil and Na^2CO^3 may be represented as follows :



$$\text{H-clay} + Na^2CO^3 \rightleftarrows \text{Na-clay} + H^2CO^3$$

The carbonic acid is unstable and a part of it decomposes to H^2O and CO^2, but in the presence of Na^2CO^3, $NaHCO^3$ is formed and the final equilibrium is :



$$\text{Na-clay} + H^2O + CO^2 + NaHCO^3 \rightleftarrows \text{H-clay} + Na^2CO^3$$

This indicates a reaction which goes strongly toward the right but actually the dispersing effect is no greater than that of the $Na^2C^2O^4$ treatment as shown by the data presented below.

The amount of sodium salt required for complete dispersion was determined for a number of soils representing widely different soil characteristics. The soils were used in the natural condition and also after washing with N/10 HCl. $Na^2C^2O^4$ and Na^2CO^3 were both tried over the whole range of conditions

for a comparison of their relative efficiency. The concentrations of sodium salt used have been based on the total exchange capacity of the soil as determined by a modified Kappen method suggested by Bradfield for exchangeable bases and an NH^4OH-NH^4Cl method for exchangeable hydrogen. In the cases of a few soils where reliable data were not available because of the presence of free carbonates the exchange capacity was estimated from the texture and a comparison with soils without carbonates.

The characteristics of the soils used in the dispersion studies are given in Table 4. The data for soil 1493, Canfield silt loam, is given in Table 5. The values given in this table for the sand, silt and clay composition of the soils are based on samples which showed a high degree of dispersion.

TABLE 4. — Characteristics of Soil Samples.

Sample No. Name.	1493 Canfield silt loam.	1098 Cardington silt loam.	1099 Cardington silt loam.	749 Russell silt loam.	W7 Paulding clay.	1839 Upshur clay.
Depth Inches	2-5	17-27	27-40	40-50	7-12	24-42
	%	%	%	%	%	%
Moisture Content	1.3	1.55	1.25	0.70	2.95	5.2
Sand	9.0	22.0	22.3	38.8	11.4	1.1
Silt	63.7	36.6	43.0	28.6	26.5	30.5
Clay $< 5\mu$	27.3	41.4	34.7	32.6	62.1	68.4
Clay $< 2\mu$	16.8	32.0	26.5	25.8	49.0	44.5
Carbonates equivalent to $CaCO^3$	—	* Trace.	*7.24	*38.95	—	—
	m.e./100 gms.	m.e./100 gms.	m.e./100 gms.	m.e./100 gms.	m.e./100 gms.	m.e./100 gms.
Exchangeable Bases	*3.8	*12.2	—	—	*35.9	37.2
Exchangeable Bases	*9.4	*10.1			*3.8	6.6
Total Exchange Capacity	13.2	22.3	**10	**15	39.7	43.8
N/10 HCl Solution loss	0.4 %	1.0 %	7.0 %	38.4 %	1.9 %	—

Notes.

The sand, silt and clay contents are given for the carbonate free soil material.
Poorly drained high in organic matter.
* Determined by T. C. Green.
** Estimated.

Four other soils were studied according to the same outline with results much the same as those given in Table 4. Fluctuations between individual determinations usually obscure the effects of different treatments, but the ratio between clay $< 5\mu$ and clay $< 2\mu$ is significant in most cases. The ratios for soils 1098, 1099, 749 and W7 are brought together in Table 6.

The soils which contained the larger amounts of free carbonates were

TABLE 5. — Effect of Pretreatment on the Determination of the Clay Content of Canfield Silt Loam.

$Na^2C^2O^4$ added equivalent to percent saturation.	Original Concentration of $Na^2C^2O^4$ added milligram equivalents per liter.	Washed with HCl.			Not Washed.		
		Clay < 5μ.	Clay < 2μ.	$\frac{\text{Clay} < 5\mu}{\text{Clay} < 2\mu}$.	Clay < 5μ	Clay < 2μ.	$\frac{\text{Clay} < 5\mu}{\text{Clay} < 2\mu}$.
			Dispersed with $Na^2C^2O^4$.				
50	1.32	27.80 ± .10	16.30 ± .10	1.70	27.55 ± .45	15.55 ± .35	1.78
100	2.64	27.95 ± .10	16.95 ± .05	1.65	27.70 ± .30	16.10 ± .05	1.72
150	3.96	27.30 ± .50	16.80 ± .35	1.63	28.15 ± .15	17.25 ± .45	1.63
200	5.28	27.55 ± .15	17.20 ± .20	1.66	27.60 ± .45	16.15 ± .35	1.71
400	10.56	28.75 ± .15	17.60 ± .20	1.64	27.90 ± .20	16.35 ± .10	1.71
800	21.12	28.60 ± .20	17.40 ± .25	1.65	27.90 ± .10	16.05 ± 10	1.74
			Dispersed with Na^2CO^3.				
50	1.32	28.00 ± .30	16.75 ± .05	1.67	27.75 ± .20	15.30 ± .25	1.81
100	2.64	27.75 ± .20	17.10 ± .10	1.62	28.35 ± .10	16.45 ± .30	1.73
150	3.96	27.80 ± .40	17.30 ± .20	1.61	23.80 ± .30	17.15 ± .25	1.68
200	5.28	27.85 ± .40	17.30 ± .40	1.61	28.55 ± .25	17.60 ± .30	1.62
400	10.56	28.05 ± .35	17.50 ± .15	1.60	28.50 ± .25	17.80 ± .10	1.60
800	21.12	27.70 ± .30	16.90 ± .15	1.64	28.30 ± .05	17.35 ± .20	1.64

greatly changed by washing with an excess of HCl and the results given for sample 749 and 1099 are not of much use for describing their texture under natural conditions. In the case of 749 a 15 gm. sample of the air dry soil was used so that the amount remaining after the carbonates were destroyed was comparable with the original samples of the other soils.

TABLE 6. — Completeness of Dispersion of Various Soils by Different Concentrations of and $Na^2C^2O^4$ and Na^2CO^3.

Sodium Salt Added Equivalent to Percent of Total Exchange Capacity.	Clay < 5μ / Clay < 2μ			
°/₀	Soil 1098.	Soil 1099.	Soil 749.	Soil W 7.
Washed with HCl. — Dispersed by $Na^2C^2O^4$.				
50	1.30	1.35	1.26	1.27
100	1.29	1.32	1.26	1.24
150	1,31	1.31	1.27	1.23
200	1.28	1.32	1.30	1.25
400	1.27	1.32	1.28	1.25
800	1.28	1.31	1.26	1.25
Washed with HCl. — Dispersed by Na^2CO^3.				
50	1.28	1.34	1.25	1.26
100	1.26	1.33	1.25	1.25
150	1.24	1.31	1.25	1.25
200	1.29	1.34	1.29	1.26
400	1.28	1.34	1.29	1.25
800	1,28	1.36	1.28	1.27
Not Washed with HCl. — Dispersed by $Na^2C^2O^4$.				
50	1.33	1.38	1.46	1.30
100	1.30	1.33	0.43	1.26
150	1.30	1.33	–	1.28
200	1.29	1.36	–	1.31
400	1.28	1.35	–	1.30
800	1.28	1.36	1.44	1.28
Not Washed with HCl. — Dispersed by Na^2CO^3.				
50	1.35	1.41	.	1.37
100	1.31	1.37		1.28
150	1.30	1.38		1.26
200	1.29	1.38	..	1.30
400	1.30	1.37	..	1.31
800	1.31	1.37	..	1.33

The uniformity of the ratios with the exception of high ratios for the first members of some of the series in Table 6 indicates that sodium oxalate or carbonate equivalent to 50 °/₀ of the total exchange capacity of the soil is not enough to insure complete dispersion, and that the treatment with salt equivalent to 200 °/₀ or more is of no more benefit than moderate treatments.

To determine more closely the amount of $Na^2C^2O^4$ to use, several soils were studied with additions of the salt equivalent to 50 % to 200 % of the total exchange capacity. No strikingly conclusive evidence was obtained but the data for one soil will be presented here. Table 7 gives the results of dispersion studies on a heavy clay subsoil which was not washed before being dispersed by $Na^2C^2O^4$.

TABLE 7. — Clay Content of Upshur Clay Subsoil
Determined after Dispersion by Different Concentrations of $Na^2C^2O^4$.

$Na^2C^2O^4$ added equivalent to percent of total of total exchange capacity.	Original concentration of $Na^2C^2O^4$, milligrams equivalents per liter.	Clay < 5μ in diameter.	Clay < 2μ in diameter.	$\frac{\text{Clay} < 5\mu}{\text{Clay} < 2\mu}$
50	4.38	61.7 ± .7	39.8 ± .6	1.55
75	6.57	65.9 ± 1.1	42.2 ± 1.0	1.56
100	8.76	68.4 ± .1	44.5 ± .2	1.54
125	10.95	67.1 ± .3	42.9 ± .7	1.57
150	13.14	69.4 ± .7	45.6 ± 1.5	1.52
200	17.52	67.9 ± .6	43.6 ± .4	1.55

SUMMARY AND OBSERVATIONS.

A critical study of the use of sodium oxalate and sodium carbonate for dispersing soils before mechanical analysis by the pipette method has been made. The data obtained suggest the following observations.

The completeness of dispersion of a soil sample can be judged by the ratio

$$\frac{\text{clay } 5\mu \text{ in diameter}}{\text{clay } 2\mu \text{ in diameter}}$$

which is quite valuable in comparing the relative effectiveness of different treatments.

Many soils can be satisfactorily dispersed by the addition of sodium oxalate or sodium carbonate equivalent to the saturation capacity of the soil and mechanical stirring without any previous treatment to destroy organic matter or remove the exchangeable bases.

Soils high in organic matter are easier to disperse completely if they are first treated with H^2O^2 to destroy finer parts of the organic matter. Much of the cementing effect which appears in soils high in organic matter can be overcome by washing with dilute HCl and this is sometimes more convenient and just as satisfactory as the H^2O^2 treatment for routine analysis.

The use of both H^2O^2 and HCl is probably never required in the mechanical analysis of soils found in Ohio and neighboring states, as the addition of a sodium salt to the acid treated soil dissolves the humified organic matter.

When HCl is used to remove Ca^{++} and other bases from the soil it can be removed by shaking the soil with two successive portions of distilled water, throwing the soil out of suspension by centrifuging, and decanting the water.

Sodium oxalate and sodium carbonate appear equally satisfactory for dispersing the

soil when they are used in combination with thorough mechanical stirring. The oxalate appears to give complete dispersion in lower concentrations than the carbonate when they are used with natural soil. When they are used with acid washed soil there is apparently no significant difference in the dispersion of the clay but the uncertainty of the correction to apply for oxalate in the aliquot sample is a point in favor of the carbonate.

An amount of $Na^2C^2O^4$ or Na^2CO^3 equivalent to 150 o/o of the total exchange capacity of a soil is sufficient to disperse a natural soil unless it is very high in organic matter. If the soil is naturally acid, salt equivalent to the exchange capacity is sufficient. This makes a relatively dilute solution when diluted to 500 cc. as it is usually less than 10 cc. of N/2 $Na^2C^2O^4$ per 10 gm. of soil and the final concentration is less than N/100. If the oxalate or carbonate is added to the soil in 150 cc. of water the highest concentration of salt which comes in contact with the soil is N/30.

When a soil has been washed with HCl and the acid removed the addition of $Na^2C^2O^4$ or Na^2CO^3 equivalent to the total exchange capacity or in many cases even less is sufficient to produce complete dispersion.

Even soils containing considerable quantities of free carbonates sometimes form stable dispersions with $Na^2C^2O^4$ and may be subjected to mechanical analysis by the pipette method. It is a question whether the data obtained by completely decomposing the carbonates and then determining clay are as valuable as those obtained for the natural soil.

When a soil has been dispersed with an equivalent amount of $Na^2C^2O^4$ and mechanical stirring it may stand indefinitely without forming aggregates.

Although a soil suspension will tolerate a considerable excess of $Na^2C^2O^4$ or Na^2CO^3 in solution without becoming flocculated, the use of more than is necessary is undesirable from the standpoint of the correction for added material in solution. The exchange capacity and other soil characteristics should be considered in the choice of the treatment to apply to a sample before mechanical analysis.

REFERENCES.

(1) Beam (W.). The Mechanical Analysis of Arid Soils. *Cairo Scientific Journal*, 5, 107-119 (1911).

(2) Bouyoucos (G. B.). The Hydrometer as a New and Rapid Method for Determining the Colloidal Content of Soils. *Soil Science*, 23, 319 (1927).

(3) Bradfield (Richard). The Concentration of Cations in Clay Soils. *Journal of Phys. Chem*., 36, 340-347 (1932).

(4) Joseph (A. F.) and Snow (O. W.). The Dispersion and Mechanical Analysis of heavy Alkline Soils. *Journal of Agricultural Science*, 19, 106-120 (1929).

(5) Novak (V.). *Pretreatment of Soil Samples for Mechanical Analysis. Commission I.* Second Int. Congress of Soil Science, 14-39 (1932).

(6) Novak (V. et Al.). Reports on the cooperative study of the preparation of soil samples for mechanical analysis. Commission I. Second Int. Congress of Soil Science, 192-262 (1932).

(7) Olmstead (L. B.). Lyle (T. Alexander), and H. E. Middleton. A Pipette Method of Mechanical Analysis of Soils Based on Improved Dispersion Procedure. *U. S. Dept. of Agric. Tech. Bul.*, 170 (1930).

(8) Robinson (G. W.). Note on the Mechanical Analysis of Humus Soils. *Journal Agricultural Science*, 12, 287-291 (1922).

(9) Shaw (T. M.). New Aliquot and Filtering Devices for Analytical Laboratories. *Industrial and Engineering Chemistry. Analytical Edition*, 4, 409. (1932).

MECHANICAL ANALYSES
OF SOME NATAL SOILS

BY

J. R. H. COUTTS,

LECTURER IN PHYSICS, NATAL UNIVERSITY COLLEGE, PIETERMARITZBURG.

Comparative results of mechanical analyses of some Natal soils have been obtained by the three methods proposed for cooperative work. These method are referred to below as methods A, B and C :

Method A : International A method, hydrogen peroxide, hydrochloric acid and ammonium hydroxide;

Method B : Replacement of ammonium hydroxide by sodium hydroxide;

Method C : Replacement of ammonium hydroxide by sodium oxalate.

It has not been possible to carry out experiments by the sedimentation method, but it is thought that results may be of interest for the dispersion obtained by methods B and C as compared with that given by Method A.

SOILS USED.

The soils used are described briefly in Table I. They are all obtained from the Natal Midlands, and belong to the same group as those discussed elsewhere by Osborn and by the present writer. All are acid soils; their pH values range from 4,5 to 5,5, and for each soil there is only a small variation in pH value throughout the profile.

Some explanation of the colour specification in Table I is necessary. B stands for brown, B[1] for blue, C for chocolate-colour, G for grey, R for red, and Y for yellow. Thus, RY represents a reddish-yellow soil, RRY a soil in which the red characteristic is more pronounced, but a yellow tint is still recognisable, and so on. RY is somewhat redder than YR. The colours are those observed in the field at the time of sampling.

The principal geological formations in the district are Table Mountain Sandstone (T. M. S.), Ecca Shales (E. S.), and Dolerites (D.). There are also some outcroppings of Dwyka.

Five independent surface soils and three complete profiles were examined making 21 samples in all.

TABLE I.

SERIES 20 N°.	GEOLOGICAL FORMATION.	GEO-GRAPHICAL POSITION.	DESCRIPTION OF SOILS USED.	R_2O_3.	AIR DRY MOIS-TURE.
K.	T. M. S.	Seven Oaks.	G. B. sandy loam	0.7	2.32
P.	E. S. et D.	Seven Oaks.	C. B. clay loam	1.1	5.45
46.	E. S. et D.	Maritzburg.	G. B. sandy loam	1.3	3.42
51.	E. S. et D.	Seven Oaks.	B. clay loam.	0.7	3.30
195.	E. S. et D.	Seven Oaks.	G. B. B. clay	0.9	5.80
150, 0 – 9″.	E. S. et D.	New Hanover.	G.B. to Y. B. loam. Floury.	1.7	8.31
9 – 14″.	E. S. et D.	New Hanover.	Y. B. to Y. Y. B. loam, very little gravel.	0.7	7.26
14 – 18″.	E. S. et D.	New Hanover.	Y. Y. B. Traces of gravel	0.7	5.17
18 – 31″.	E. S. et D.	New Hanover.	R. B. Clay loam. Fair amount of fine gravel ironstone concretions. Friable.	0.3	5.76
31 – 39″.	E. S. et D.	New Hanover.	Y. R. B. to Y. B. with Y decomposed shale.	0.3	4.41
39 +.	E. S. et D.	New Hanover.	Y Bl. decomposed shale	0.5	4.92
153. 0 – 10″.	E. S. et D.	Melrose.	C. B. loam.	1.7	5.79
10 – 18″.	E. S. et D.	Melrose.	B. to Y. B. loam, shale particles. Few traces of shale et ironstone concretions. Friable.	0.6	5.53
18 – 24″.	E. S. et D.	Melrose.	Y. R. B. to R. B. Ironstone layer at 24″. Y shale particles.	0.9	5.06
24 – 34″.	E. S. et D.	Melrose.	R. B. to Y. R. B. Ironstone concretions. Clayey and gritty.	0.8	4.10
34 – 42″.	E. S. et D.	Melrose.	R. Y. Only traces of ironstone	0.1	3.69
181, 0 – 10″.	T.M.S. et E.S.	Boscombe	G. sandy loam	0.8	3.01
10 – 16″.	T.M.S. et E.S.	Boscombe	G. B. to B, sandy loam	1.3	2.70
16 – 30″.	T.M.S. et E.S.	Boscombe	Y. B. sandy clay.	0.2	2.41
30 – 36″.	T.M.S. et E.S.	Boscombe	R. B. sandy clay.	0.1	2.15
36 +.	T.M.S. et E.S.	Boscombe	R, R. Y. sandy clay. Sticky	0.4	1.82

EXPERIMENTAL.

The soils had been passed through a 2 mm. sieve before use. 20 grams of soil were used for each experiment, and the final volume of the suspension was 1 litre. The pre-treatment with hydrogen peroxide was carried out in the usual way, except that the soil was filtered at the pump on a Buchner funnel; it had been found in earlier work that filtration on an ordinary filter paper was extremely slow. Schleicher No. 595 paper was found satisfactory. Conditions were maintained as nearly as possible the same for all samples. After adding the proper reagents, the samples were shaken for 2 hours on a reciprocating shaker. It may be mentioned that in the cases of the reddish horizons of soils Nos. 153 and 181, there was almost complete flocculation after the separation of the coarse sand and before the addition of the dispersing

agent; except in certain cases discussed below, the flocculation was removed successfully by the reagent and subsequent shaking.

For the pipette sampling, a pipette with a tap and a long stem was used; the bulb did not enter the suspension. The same pipette was used throughout the series of experiments, so that results are strictly comparable. The suspensions were kept in a darkened room. During the whole series of measurements, the extreme variation of temperature was from 19,5° to 28°, but the variation was not more than 1° during the determinations on any one batch of samples, and the depths and times of sampling were in all cases adjusted to correspond to the standard temperature of 20°. Each batch of samples included one for each of the methods on the same soil. The fractionated samples were evaporated to dryness on a water bath, and then dried in a Hearson oven at approximately 105°; in this case, also, the batches of samples were arranged so that any variations in the conditions in the oven did not affect comparative results for any one soil.

The soluble sesquioxides were determined by precipitation with ammonium hydroxide. It was found necessary in some cases to oxidise with nitric acid in order to obtain complete precipitation.

In calculating the results, the weights were, of course, corrected for the amount of sodium hydroxide or sodium oxalate present. Results are referred to oven-dry soil, and the air-dry moisture is shown separately in Table I.

RESULTS.

Complete mechanical analyses were performed on all the samples, but in order to economise space, only the clay fractions are reported in Table II. Two points should be mentioned, however :

1. With most of the present samples, as with a number of others for soils of similar type, the sum of the fractions did not total 100 o/o : values betwen 94 o/o and 95 o/o were usual. The discrepancy is mainly due to the loss of material by oxidation during the pre-treatment with hydrogen peroxide, an explanation which is borne out by the fact that the deep sub-soils gave totals approaching more nearly to 100 o/o. In this respect, the present method of reporting results compares unfavorably with the older procedure of reporting in terms of ignited fractions, and including loss on ignition, since the latter method provided an automatic check on the results.

2. The separations of coarse sand and fine sand, using an I. M. M. sieve No. 70 were in some cases unsatisfactory, and sometimes showed large differences in replicate determinations; the discrepancies were, however, much smaller when the sum of the two sand fractions was considered.

TABLE II.

Comparison of dispersion produced by three methods.
(Clay contents as determined by methods A, B et C.)

Series 20, N°.	A.	B.	C.	100 x B/A.	100 x C/A.
K.	23.9	24.7	23.4	103.2	97.9
P.	47.7	49.5	38.7	103.9	81.2
46.	36.4	37.1	36.4	102.1	100.0
51.	48.9	50.3	47.9	102.8	97.9
195.	55.5	55.5	51.5	100.0	92.9
150, 0 - 9".	57.8	57.0	41.3	98.6	73.1
9 - 14".	55.8	57.4	52.6	102.9	94.2
14 - 18".	56.7	58.0	50.9	102.3	89.8
18 - 31".	58.1	57.1	49.7	98.2	85.5
31 - 39".	51.6	52.9	49.2	102.5	95.5
39" +.	50.4	52.2	50.4	103.6	100.0
153, 0 - 10".	48.4	50.4	17.9	104.1	37.0
10 - 18".	40.3	43.8	10.3	108.5	25.5
13 - 24".	41.2	42.2	23.1	102.5	56.0
24 - 34".	37.9	39.5	35.6	104.2	93.9
34 - 42".	42.7	46.5	38.3	109.1	89.7
181, 0 - 10".	30.6	27.7	25.7	90.8	84.0
10 - 16".	29.7	29.2	27.2	98.3	91.4
16 - 30".	31.1	30.4	28.8	97.5	92.6
30 - 36".	30.8	33.1	29.5	107.4	95.9
36" +.	28.4	28.9	27.9	101.8	98.2

Table II shows the clay contents obtained in parallel determinations by the three methods. It also shows the relative dispersion obtained by methods B and C, taking that for method A as 100. An inspection of the figures shows that in the main the results confirm the Bangor conclusion that method B produces more efficient dispersion that method A. Of the five apparent exceptions, it will be seen that four correspond to differences of not more than 1 o/o in the absolute value of the clay content, and are therefore barely significant. The remaining case (Soil No. 181, 0-10") represents a difference of 2,9 o/o in the clay content of the soil; the whole of this loss was recovered in the silt fraction, and may represent a real case of less efficient dispersion by method B*.

The results obtained by method C are definitely inferior to those obtained

* It may be noted that the three lowest relative values obtained by method B were with the first three horizons of this soil, which is derived from a site where the three main geological formations are intermingled, and is also near an outcrop of Dwyka.

by either of the other methods. In two cases, the relative dispersion is equal to that produced by method A, but in all others it is lower. In no case is the relative dispersion equal to that of method B. In extreme cases, such as the first two horizons of Soil No. 153, there was clear evidence of very considerable partial flocculation. In the other cases where the results are very low, there were also signs of flocculation : the deposits in the sedimentation cylinder were rather bulkier than with the parallel samples with the other reagents, and difficulty was experienced in separating the fine sand fraction-while 8 to 12 washings were normally required, these samples needed about 30; the total of the fractions was also very low, showing that flocculation had occurred during the 8 hours stand for the clay fraction sampling.

It is possible that better results would be obtained by method C if it were decided to use a more drastic method of pre-treatment. A sample of Soil P was treated with hydrogen peroxide of strength "100 volumes" instead of the usual "20 volumes", and this gave a relative dispersion of 98,4 o/o, as compared with 81,2 o/o quoted in Table II for the ordinary pre-treatment. But so long as the present method of pre-treatment is retained, it appears that the method is not suitable for the class of soils discussed in this note.

SUMMARY.

Mechanical analyses of soils from the Natal Midlands show that for soils of this type the most efficient dispersing agent after pre-treatment with hydrogen peroxide (20 volumes) is sodium hydroxide; dispersion with ammonium hydroxide is, in most cases, somewhat lower; and results obtained with sodium oxalate are considerably lower, and are in some cases liable to large discrepancies on account of partial flocculation.

Mechanische Analyse einiger Böden von Natal (Süd Afrika).

Zusammenstellung.

Die mechanische Analyse der Böden aus den mittleren Bezirken von Natal zeigen dass für diesbezüglichen Böden das beste Dispersions-Agent nach vorheriger Behandlung mit 20 Vol. Wasserstoffsuperoxyd Natrium Hydroxyd ist. Ammonium Hydroxyd hat in den meisten Fällen eine etwas niedrige Wirkung. Die mit Oxalsaures-Natrium erhaltenen Resultate sind erheblich niedriger, und zeigen häufig wegen partielle Flockung Mangel an Uebereinstimmung.

RÉSUMÉ.

Analyse mécanique de quelques sols de Natal (Afrique du Sud).

Les analyses mécaniques des sols provenant de Natal montrent que, pour de tels sols, l'agent de dispersion le plus efficace, après traitement préalable au peroxyde d'hydrogène (20 volumes), est l'hydroxyde de sodium; la dispersion par l'hydroxyde d'ammonium est moindre dans presque tous les cas : les dispersions effectuées avec l'oxalate de sodium sont moindres encore et sujettes à de considérables différences du fait d'une floculation partielle.

SUR LA DISPERSION DES COLLOÏDES ARGILEUX. APPLICATION À LEUR EXTRACTION,

PAR

A. DEMOLON ET E. BASTISSE

(VERSAILLES).

I. INTRODUCTION.

La méthode d'analyse physique actuellement adoptée en France par les Stations agronomiques dérive de celle établie par la première Commission de l'Association internationale de la Science du sol à Rothamsted en 1926. La dispersion des colloïdes argileux (2 μ) comporte les trois opérations suivantes :

1° Destruction des matières humiques par l'eau oxygénée;

2° Décalcification totale par HCl N/10;

3° Peptisation par agitation mécanique (1 h.) dans une solution de NaOH à 1 gramme pour 1.000 centimètres cubes.

L'application de cette méthode aux terres de limons s'est montrée satisfaisante, mais dans le cas des terres renfermant du calcaire, la destruction de celui-ci par HCl libère des éléments qui viennent fausser les résultats; de plus, les réactifs employés (HCl et NaOH) altèrent plus ou moins la matière argileuse; l'examen des solutions de décalcification et de peptisation montre l'existence de pertes parfois importantes de certains constituants, notamment SiO^2 et Fe^2O^3. Cette altération augmente avec la concentration des réactifs, leur volume et la durée des opérations; elle peut entraîner des modifications très importantes dans la constitution chimique et les propriétés de la matière argileuse initiale.

Nous nous sommes proposés de rechercher une méthode de séparation

des colloïdes argileux du sol qui ne présente pas ces inconvénients. Nous n'ignorons pas qu'un grand nombre de modifications ont été proposées à la méthode internationale primitive, mais étant donné leur caractère généralement empirique, il paraît difficile d'en apprécier la valeur d'un point de vue général, aussi commençons-nous par l'examen des conditions susceptibles de favoriser à la fois la dispersion de l'argile et la stabilité de ses suspensions.

II. INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DES IONS OH DU MILIEU SUR LA RÉSISTANCE A LA FLOCULATION DE L'ARGILE COLLOIDALE.

Dans un travail antérieur [1] nous avons montré que le seuil de floculation de l'argile colloïdale par les sels de potassium s'élève avec la concentration en ions OH du milieu. Les courbes obtenues montrent que l'action de la concentration en ions OH croît rapidement à partir de la neutralité puis diminue ensuite, en sorte que pour un certain pH existe un pouvoir peptisant optimum du milieu, c'est-à-dire une différence maxima entre l'action dispersante des ions OH et l'action floculante des cations K introduits simultanément.

Dans les recherches que nous exposons, au lieu des seuils de floculation définis par la quantité minima d'électrolyte qui produit la clarification totale par dépôt spontané dans un temps donné, on a utilisé un indice de résistance à la floculation représenté par la concentration maxima ne provoquant aucune modification apparente de la suspension au bout d'une heure.

Les variations du pH peuvent être obtenues en traitant l'argile par la quantité de base nécessaire pour obtenir le pH final indiqué; on ajoute ensuite la solution saline à pH neutre.

Pratiquement, nous avons préféré ajouter directement l'alcali dans la solution saline et introduire ensuite ce mélange dans la suspension d'argile. Ce mode opératoire qui est plus pratique donne en tous les cas des résultats identiques au précédent.

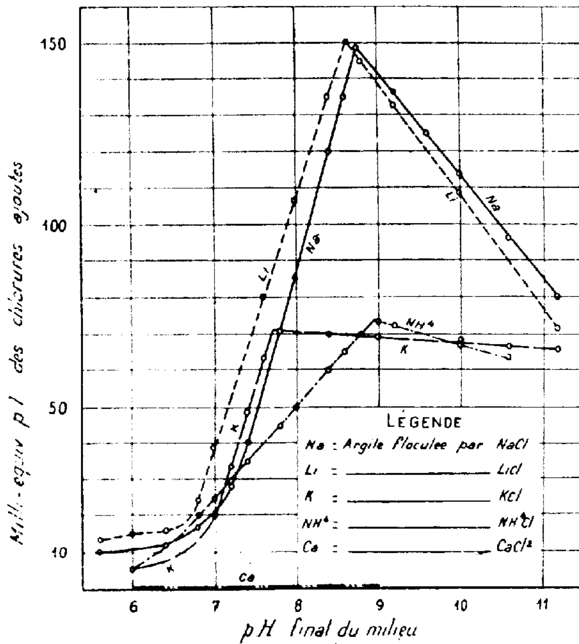
1° Résistance à la floculation par les chlorures correspondants à la base ajoutée.

Nous avons traité la suspension d'argile par les chlorures de Na, Li, K, NH^4, additionnés de la quantité nécessaire de la base correspondante pour obtenir une série de déterminations à pH croissant.

Le graphique I montre que la résistance à la floculation de l'argile colloïdale croît avec l'augmentation de la concentration en ions OH du milieu et passe par un maximum atteint pour $Na^{\cdot}$ à pH 8,7, pour $Li^{\cdot}$ à pH 8,6, pour $NH^{4\cdot}$ à pH 9,0 et pour $K^{\cdot}$ à pH 7,7.

Au delà on observe un abaissement des indices de résistance, qui est rapide pour Na^{+} et Li^{+}, cations dont l'énergie de fixation est faible, mais beaucoup

Graphique I



plus lent pour les cations NH^{4+} et K^{+} dont l'énergie de fixation est plus élevée.

2° Résistance à la floculation par le chlorure de sodium.

L'agent floculant est ici le même en tous les cas; sa solution est additionnée de la quantité nécessaire des différentes bases pour obtenir des séries de détermination à pH croissant (graphique II).

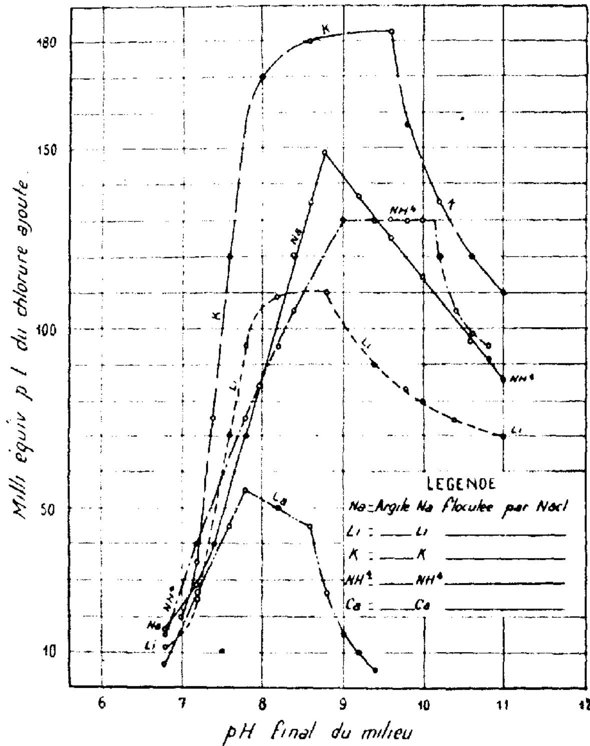
Nous constatons que la présence simultanée dans le milieu de deux cations dont l'un correspondant à la base introduite se trouve à dose minime, a pour effets :

1° D'élargir la zone de résistance maxima à la floculation de l'argile colloïdale;

2° Dans le cas où le cation introduit a une énergie de fixation supérieure

à celle de Na^+ (exemple K, NH^4, Ca), d'élever les indices de résistance à la floculation par NaCl par rapport à ceux obtenus pour le chlorure correspondant

Graphique II.



à la base introduite. C'est l'association K, Na qui donne les indices les plus élevés;

3° A partir d'un certain pH plus élevé que le pH optimum constaté dans le cas précédent (graphique I), les indices s'abaissent très rapidement.

III. INFLUENCE DE CERTAINS ANIONS SUR L'ÉLÉVATION DE LA RÉSISTANCE A LA FLOCULATION DE L'ARGILE COLLOIDALE.

Nous avons montré antérieurement (1) que le seuil de floculation de l'argile colloïdale pouvait également s'élever par suite de la présence dans le milieu de certains anions (2) [citrique, tartrique, oxalique, phosphorique, silicique]

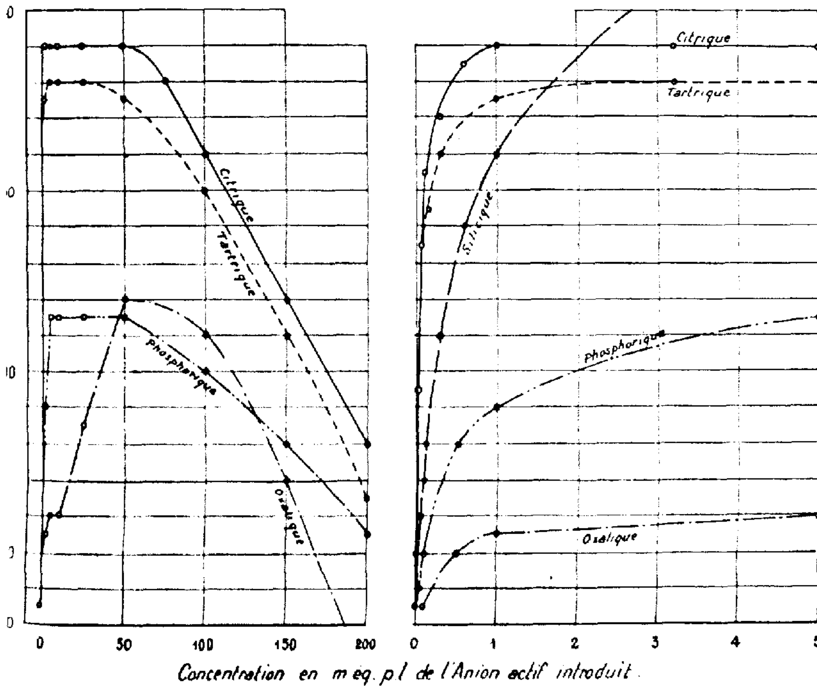
qui peuvent se fixer soit directement sur la micelle argileuse négative, soit sur l'oxyde de fer positif que cette micelle retient par adsorption. Il y a dans ces conditions augmentation de la charge négative finale de l'ensemble et élévation de sa résistance à la floculation.

Parmi eux, l'anion oxalique a déjà été préconisé (3) dans l'analyse mécanique.

1° Comparaison des différents anions actifs.

En vue d'utiliser la propriété précédente, nous avons recherché expérimentalement dans quelle mesure la présence d'un anion actif modifie la résistance à la floculation de l'argile colloïdale par le chlorure de sodium. A cet effet, nous avons déterminé la variation des indices de résistance en fonction de la concentration en anions à l'aide de la technique opératoire décrite précédem-

Graphique III.



ment et en introduisant l'anion étudié dans la solution floculante. La réaction a été en tous les cas ajustée par NaOH à pH final 8,6 correspondant à l'optimum précédemment constaté (graphique I).

Les résultats obtenus sont projetés à deux échelles (graphique III).

On voit que c'est l'anion citrique qui donne les meilleurs résultats et que les effets produits, rapidement croissants, se stabilisent à partir de 1 m-éq.p.1. pour décroître ensuite vers 50 m-éq.p.1.

Les autres anions : tartrique, phosphorique, oxalique sont moins efficaces. Quant à l'anion silicique, il flocule pour des concentrations supérieures à 5 m-éq.p.1. dans les conditions de pH indiquées et ne peut donc pas être utilisé.

2° Action des différents cations sur le comportement d'un anion actif.

Nous avons déterminé la résistance à la floculation de l'argile colloïdale traitée par les citrates de Na, K et NH^3 à doses croissantes et à pH final différent, puis floculée ensuite :

1° Par les chlorures correspondants au citrate alcalin employé;

2° Par le chlorure de sodium;

3° Par le chlorure de calcium.

Nous avons ainsi constaté que c'est le citrate de soude qui donne presque toujours les meilleurs résultats particulièrement au voisinage de la neutralité.

En résumé, l'étude précédente démontre qu'on peut obtenir la dispersion de l'argile colloïdale prise à l'état calcique et son maintien en suspension à condition :

1° De se placer à un pH favorable compris entre 7,0 et 9,0;

2° De réaliser une association de deux cations alcalins K et Na dont l'un à grande énergie de fixation K devra se trouver en petites quantités;

3° D'introduire dans le milieu et à dose optima un anion actif l'anion citrique de préférence à l'état de sel de sodium.

IV. MISE AU POINT D'UNE TECHNIQUE D'EXTRACTION DE L'ARGILE COLLOIDALE SANS DÉCALCIFICATION.

Traitements préalables.

Les essais ont porté sur une terre à briques neutre à environ 20 p. 100 d'argile, de pH 7,6 dont le complexe est saturé pour 9/10ᵉ par CaO (20 m-éq. pour 100 gr. de terre). Sur une prise d'essai de 10 grammes et après destruc-

tion de la matière organique par l'eau oxygénée, selon la technique habituelle, nous avons suivi la décalcification par HCl N/10 (100 m-éq.p.1.); celle-ci pour être totale nécessite six lavages de 100 centimètres cubes chacun avec des pertes en SiO^2 et Fe^2O^3.

L'emploi d'une solution neutre de KCl (100 m-éq.p.1.) ne présente pas ces inconvénients mais les traitements sont deux fois plus longs (douze lavages).

Dans la méthode proposée on ne cherche pas à obtenir la décalcification totale et on ne fait que trois lavages avec KCl N/10 (100 m-éq.p.1.) en vue :

1° D'éliminer les sels de calcium solubles à gros pouvoir floculant (nitrate, chlorure, sulfate);

2° D'introduire dans le milieu, soit par échange avec Ca, soit par imbibition de la terre une petite quantité de K^+ dont nous avons vu l'utilité;

3° De ramener le pH de la terre vers la neutralité.

Détermination pratique de la dose utile d'anion citrique.

On fait passer la terre ainsi traitée dans un flacon de 1.000 centimètres cubes à l'aide d'une pissette. On amène à 400 centimètres cubes environ avec de l'eau distillée et on introduit comme agent de dispersion du citrate de soude à pH neutre.

On peut tout aussi bien et sans inconvénient utiliser un citrate de soude cristallisé dont la réaction est naturellement un peu alcaline (pH 8,0 environ).

On continue ensuite les opérations comme dans le cas de la méthode internationale. On fait deux extractions et on sépare les colloïdes dispersés par un agent floculant approprié, acide ou sel neutre selon les cas.

Dans une série d'expériences, on a fait croître les quantités de citrate de soude en vue de déterminer pratiquement la dose utile. Les résultats trouvés ont été exprimés sous forme d'indices de comparaison par rapport à ceux obtenus comparativement pour la méthode internationale qui sert de témoin (indice = 100). Ils sont présentés dans le tableau I.

On voit que c'est la dose de 10 m-éq.p.1. de citrate de soude (colonne 4) qui donne le meilleur résultat. Le rendement obtenu est même supérieur à 100 du fait que cette méthode évite les pertes en différents constituants dues à HCl et NaOH. Quant à la fixation d'anion citrique, nous avons vérifié qu'elle peut être négligée dans les conditions de concentration adoptée.

C'est donc cette dose qu'il convient d'employer.

Nous avons constaté également qu'il n'y a aucun intérêt à élever le pH et pour un même essai, à 10 m-éq.p.1. de citrate de soude additionné de 1 gramme de NaOH soit 25 m-éq.p.1. nous avons obtenu un rendement total de 98,4 donc nettement plus faible.

TABLEAU I.

DÉTERMINATION PRATIQUE DE LA QUANTITÉ DE CITRATE DE SOUDE DONNANT LES MEILLEURS RÉSULTATS POUR L'EXTRACTION DE L'ARGILE COLLOÏDALE D'UN SOL.

(Résultats imprimés en indices de comparaison.)

	MÉTHODE INTERNATIONALE.	MÉTHODE PROPOSÉE. 3 LAVAGES AVEC KCl 100 M-ÉQ. P. L., PUIS PEPTISATION par							
	DÉCALCIFICATION totale par HCl à 100 m éq. p. l. PEPTISATION par NaOH 25 m éq. p. l., pH 12,0.	EAU distillée.	CITRATE SODIQUE pH FINAL 7,0. (Concentration en m-éq. p. l.)						
			5	10	15	20	25	50	100
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1re extraction....	96,1	45,3	87,2	91,6	89,5	87,6	86,0	81,4	70,7
2e extraction....	3,9	10,5	12,4	9,2	10,5	12,0	12,9	16,5	26,1
TOTAL......	100,0	55,8	99,6	100,8	100,0	99,6	98,9	97,9	96,8

Comparaison pour cette dose des différents anions actifs.

Dans des conditions par ailleurs identiques on a comparé les différents anions actifs à la même concentration.

Le tableau II donne les résultats obtenus :

TABLEAU II.

COMPARAISON DU POUVOIR PEPTISANT DES DIFFÉRENTS ANIONS ACTIFS UTILISÉS SOUS FORME DE SELS DE SODIUM À LA DOSE DE 10 M-ÉQ. P. L.

	MÉTHODE INTERNATIONALE.	ANIONS ACTIFS INTRODUITS.			
		CITRIQUE.	OXALIQUE.	TARTRIQUE.	PHOSPHORIQUE.
1re extraction.............	96,1	91,6	81,0	68,3	70,5
2e extraction.............	3,9	9,2	14,6	24,5	22,1
TOTAL...........	100,0	100,8	95,6	92,8	92,6

On voit que l'anion citrique est ici encore celui qui donne les meilleurs résultats.

Technique proposée.

En résumé, la méthode que nous préconisons, pour l'extraction des colloïdes en vue de leur dosage quantitatif, comprend les opérations suivantes :

1° Destruction de la matière organique comme il est indiqué dans la méthode internationale ;

2° Trois lavages de 100 centimètres cubes avec KCl N/10 ;

3° Peptisation par agitation mécanique (1 h.) en présence de 400 centimètres cubes H^2O additionnés de 10 centimètres cubes d'une solution normale de citrate de soude (119 gr. citrate de soude cristallisé par litre) ;

4° Extraction des colloïdes par la méthode de sédimentation telle qu'elle est définie dans la méthode internationale.

V. RÉSULTATS.

Dosage quantitatif de l'argile des sols. (Tableau III.)

TABLEAU III.

RÉSULTATS COMPARÉS DE L'EXTRACTION QUANTITATIVE DES COLLOÏDES ARGILEUX SUR DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS, PAR LA MÉTHODE INTERNATIONALE ET PAR LA NOUVELLE MÉTHODE PROPOSÉE, EN VUE DU DOSAGE.

NUMÉROS.	TERRES.		RÉSULTATS OBTENUS par la				
	ORIGINES.	CARACTÉRISTIQUES.	MÉTHODE INTERNATIONALE. (Total = 100.)		NOUVELLE MÉTHODE PROPOSÉE.		
			1re extraction.	2e extraction.	1re extraction.	2e extraction.	Total.
1	Terre à briques, Laon (Aisne).	Horizon B, pH = 7,6.	96.1	3.9	91.6	9.2	100.8
2	Terre du domaine, Versailles (Seine-et-Oise).	Horizon B, 0,5 p. 100 calcaire.	97.8	2.2	92.7	9.5	100.2
3	Terre de sous-sol (île de Ré).	Calcaire	95.4	4.6	92.6	7.7	100.3
4	Terre rouge, Grasse (Var)...	....	95.3	4.7	94.4	5.7	100.1
5	Argile à silex (Eure-et-Loir)..	....	93.7	6.3	90.5	8.4	98.9
6	Terre du domaine, Versailles (Seine-et-Oise).	Horizon C, 14 p. 100 calcaire.	96.8	3.2	87.6	8.8	96.4
7	Terre de Rennemoulin (Seine-et-Oise).	Très calcaire....	97.5	2.5	67.3	28.5	95.8
8	Marnes blanches, Viroflay (Seine-et-Oise).	Très calcaire....	98.5	1.5	79.5	8.3	87.8
9	Terre à briques, Cancon (Lot-et-Garonne).	20 p. 100 calcaire.	89.2	10.8	56.4	23.7	80.1
10	Terre de Champagne (Marne).	66 p. 100 calcaire.	97.0	3.0	75.6	7.4	83.0
11	Terre de Champagne (Marne).	84 p. 100 calcaire.	97.2	2.8	60.6	10.5	71.1
12	Gaize (Ardennes)..........	....	83.9	16.1	71.4	16.3	87.7
13	Terre de Limagne, Clermont (Puy-de-Dôme).	18 p. 100 calcaire.	94.5	5.5	21.8	7.5	29.3

On voit que la méthode proposée donne pour les terres n[os] 1, 2, 3, 4, 5 des résultats sensiblement égaux à ceux de la méthode internationale. Dans le cas des terres n[os] 6, 7, 8, 9, 10, 11 les résultats sont plus faibles parce que le calcaire demeuré inattaqué n'a pas, de ce fait, libéré les colloïdes qu'il retient. Pour les terres 12 et 13, on se trouve en présence de sol squelettiques très facilement attaquables par les réactifs chimiques employés dans la méthode internationale, d'où production en ce cas d'éléments colloïdaux surajoutés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

(1) Demolon et Bastisse, *Ann. agr.* (nouvelle série), 1933, III, pages 73, 82.

(2) Demolon et Bastisse, *Ann. agr.* (nouvelle série), 1934, IV, pages 53, 76.

(3) L. B. Olmstead et L. T. Alexander, *Soil Research*, 1930, volume II, page 68.

SUR L'ANALYSE MÉCANIQUE DES TERRES D'INDOCHINE,

PAR

R. CERIGHELLI.

Dans cette brève note, je me propose simplement d'attirer l'attention sur quelques faits que mes collaborateurs et moi avons mis en évidence dans les recherches que nous avons poursuivies sur l'analyse mécanique des terres de Cochinchine.

Dans les laboratoires d'agriculture d'Indochine, on suit, pour l'analyse mécanique des sols, une méthode imaginée par Vageler et appliquée à la Proefstation voor Thee de Buitenzorg.

Nous avons fait de cette méthode une critique qui porte sur deux points principaux : d'abord, sur la préparation de l'échantillon soumis à l'analyse dont les particules ne sont pas complètement dispersées ; ensuite, sur les prélèvements par pipettes qui se font à des temps et à des profondeurs ne correspondant pas aux dimensions des particules fixées par l'auteur.

I. Ainsi nous avons été amenés à rechercher une nouvelle méthode d'analyse. Nous avons continué à appliquer la méthode pipette, mais en calculant par la formule de Stokes, les vitesses de chute en fonction de la dimension des particules.

Etant donné le lieu où se faisaient les analyses et les températures assez élevées qui le caractérisaient, le plus souvent voisines de 30°, nous avons calculé le facteur C de la formule de Stokes, $v = Cr^2$.

A Saïgon, pour les terres de densité de 2.6, C varie de 37970 à 43449 quand la température passe de 24° à 30° ; pour les terres de densité de 2.65, ce facteur varie de 39157 à 44806 quand la température passe par les mêmes valeurs.

Pour le travail en série, il est plus commode de fixer les temps une fois pour toutes et de faire varier les profondeurs de prélèvements suivant la température, comme l'ont déjà proposé certains auteurs. Nous avons fixé les temps de prélèvement à :

4 minutes pour les particules de 20 μ de diamètre ;

6 heures pour les particules de 2 μ de diamètre.

II. Au début de nos recherches, nous n'avons pas eu pour objectif une étude détaillée du mode de préparation des terres soumises à l'analyse. C'est la critique de la méthode de Vageler qui a retenu toute notre attention. Les quelques expériences que nous avons faites n'avaient d'autre but que de nous rapprocher, dans notre mode opératoire, de la méthode internationale. Les résultats que nous avons obtenus nous ont montré qu'une étude plus approfondie de cette question était nécessaire.

Pour si imparfaites que soient nos recherches, j'ai profité de l'occasion qui m'était offerte par cette réunion pour en présenter les résultats, ne demandant ainsi qu'à profiter des critiques et des conseils des membres de la première Commission pour lesquels l'analyse mécanique du sol n'a plus beaucoup de secrets.

Dans nos recherches, nous avons employé une terre de la catégorie des « terres rouges » dont la densité a été trouvée égale à 2,6. Nous avons suivi plusieurs méthodes de préparation :

a. Avant l'agitation, traitement de la terre par l'eau oxygénée [1], suivi ou non du traitement par l'acide chlorhydrique, mais, dans les deux cas, lavages à l'eau distillée pour éliminer toutes les matières solubles;

b. Mise en agitation de la terre directement, sans traitement par l'eau oxygénée;

c. Agitation pendant six heures dans un appareil à secousses (70 à 80 secousses par minute) ou agitation pendant deux heures par retournement;

d. Emploi de différents stabilisateurs : ammoniaque, soude, oxalate de soude en quantités variables.

Dans tous les cas, la terre est mise en suspension dans un volume de 400 centimètres cubes, ce qui représente une concentration de 5 p. 100. Les prélèvements sont faits par pipetage aux temps et profondeurs, fixées par Vageler, dont les correspondances avec les dimensions des particules de terre, variables suivant les températures, ont été calculées par la formule de Stokes en prenant pour C les valeurs rapportées plus haut.

Expérience 4 *bis*. *Conditions*. — Quatre échantillons de terre :

C et D, en quantité correspondant à 10 grammes de poids sec, non traités ni

---

[1] Dans le traitement par H^2O^2 et HCl, on suit le protocole de la méthode internationale A.

par H^2O^2, ni par HCl, agités pendant six heures par secousses, avec 5 gouttes de NH^3 (sol. à 10 p. 100);

E et F, en quantité correspondant à 20 grammes de poids sec, traités par H^2O^2, HCl, lavés, agités pendant deux heures par retournement, avec 1 p. 1.000 de soude.

Par exception, dans cette expérience, les concentrations des suspensions ont été de 2,5 p. 100 pour C, D et de 2 p. 100 pour E, F.

Résultats.

FRACTIONS.	C.	D.	E.	F.
25 μ,0 – 9 μ,0	8,4	9,6	3,0	4,5
9 μ,0 – 2 μ,6	18,8	20,4	2,0	7,0
2 μ,6 – 0 μ,8	10,4	12,4	3,0	0,0
0 μ,8 – 0 μ,3	6,8	9,6	9,0	8,5
0 μ,3 – 0	14,0	12,4	79,0	77,5
Total	58,4	64,4	96,0	97,5

On voit qu'en E et F la dispersion des particules est beaucoup plus grande qu'en C et D.

A quoi sont dûes ces différences? A l'action de H^2O^2, à celle de HCl ou de NaOH? Pour répondre à toutes ces questions, nous avons fait les expériences suivantes :

Expérience 5. *Conditions.* — 6 échantillons correspondant à 20 grammes de poids sec, agités directement pendant 6 heures par secousses, avec différents stabilisateurs :

A et B avec 5 gouttes d'une solution de NH^3 à 10 p. 100;

C et D avec 0 gr. 4 de soude caustique;

E et F avec 4 centimètres cubes d'une solution d'oxalate de soude 0,5 N.

Volume de suspension : 400 centimètres cubes. Concentration : 5 p. 100.

RÉSULTATS.

FRACTIONS.	A.	B.	C.	D.	E.	F.
25 µ,6 – 9 µ,0	9,4	7,0	10,2	8,4	11,2	11,0
9 µ,0 – 2 µ,6	12,2	15,6	11,0	10,6	8,4	9,4
2 µ,6 – 0 µ,8	8,2	8,2	8,6	8,4	13,0	9,2
0 µ,8 – 0 µ,3	4,6	5,0	17,0	12,6	5,2	6,2
0 µ,3 – 0	9,8	10,2	51,8	58,8	10,4	11,8
TOTAL	44,2	46,0	98,6	98,8	48,2	47,6

On peut conclure de cette expérience que l'oxalate de soude, à la dose de 4 centimètres cubes d'une solution 0,5 N, et l'ammoniaque, à la dose de 5 gouttes d'une solution à 10 p. 100, se comportent sensiblement de la même manière; ils provoquent une dispersion à peu près égale des particules des terres non traitées par l'eau oxygénée. Par contre la soude à 1 p. 1.000 exerce une action plus profonde; la proportion des particules de diamètre inférieur à 25 µ,6, qui est de 44 à 48 p. 100 avec les deux premiers stabilisateurs, devient égale à 98 p. 100 avec la soude, traduisant une augmentation de 50 p. 100, augmentation qui intéresse surtout les particules les plus fines, celles qui ont un diamètre inférieur à 0 µ,8.

Dans l'expérience suivante, on a augmenté la dose de tous les stabilisateurs.

EXPÉRIENCE 6. *Conditions.* — *6 échantillons de terre correspondant à* 20 grammes de poids sec sont agités directement comme dans l'expérience précédente et additionnés des stabilisateurs suivants :

A et B, 25 gouttes de NH^3 (solution à 10 p. 100);

C et D, 1 gramme de soude caustique;

E et F, 10 centimètres cubes d'oxalate de soude (solution à 0,5N).

Volume de suspension : 400 centimètres cubes; concentration : 5 p. 100.

RÉSULTATS.

FRACTIONS.	A.	B.	C.	D.	E.	F.
25 µ,3 – 8 µ,9	16,0	15,2	5,2	4,2	15,2	13,4
8 µ,9 – 2 µ,5	22,2	20,4	5,4	8,4	0,0	0,0
2 µ,5 – 0 µ,8	16,0	16,8	11,6	9,8	25,0	25,2
0 µ,8 – 0 µ,3	8,8	9,4	4,0	8,0	5,4	5,0
0 µ,3 – 0	27,2	27,0	71,8	67,8	15,0	15,4
TOTAL	90,2	88,8	98,0	98,2	60,6	59,0

Avec l'augmentation des doses, l'action de l'ammoniaque se sépare nettement de celle de l'oxalate de soude : la première provoque une dispersion plus grande que le second; mais, ici encore, c'est la soude qui a le pouvoir de dispersion le plus grand.

Si l'on compare deux à deux l'action de ces réactifs (expériences 5 et 6) on voit que, pour chacun d'eux, le pouvoir de dispersion suit une augmentation parallèle à celle de la concentration.

Dans les expériences suivantes, nous avons comparé l'action que différentes doses d'ammoniaque exercent sur des échantillons de terre traités ou non par l'eau oxygénée.

Expérience 7. *Conditions.* — 6 échantillons correspondant à un poids sec de 20 grammes, agités directement, sans traitement préalable par H^2O^2, pendant 2 heures par retournement et additionnés des stabilisateurs suivants :

A et B, 10 gouttes d'ammoniaque à 10 p. 100;

C et D, 25 gouttes d'ammoniaque à 10 p. 100;

E et F, 1 gramme d'ammoniaque gazeux.

Volume de la suspension : 400 centimètres cubes; concentration : 5 p. 100.

Résultats.

Fractions.	A.	B.	C.	D.	E.	F.
24μ,8 8μ,7	11.6	12.0	12.8	13.0	13.2	13,4
8μ,7 2μ,5	22.8	23.0	25.8	"	23.0	23,0
2μ,5 0μ,8	15.0	14.8	13.8	39.4	15.8	15.0
0μ,8 0μ,3	9.2	10.0	13.2	12.8	13.0	13,8
0μ,3 0	16.2	16.0	21.4	21.6	25.0	24.2
Total	74.8	75.8	87.0	86.8	90.0	89.4

Il résulte de cette expérience que la dispersion des particules augmente avec la dose d'ammoniaque, mais faiblement au-dessus de 25 gouttes pour un volume de 400 centimètres cubes. En tous cas, l'action de l'ammoniaque est moins profonde que celle de la soude.

Expérience 8. *Conditions.* — 6 échantillons de terre, correspondant à 20 grammes de poids sec, sont traités par H^2O^2, mais non par HCl, lavés,

et agités pendant 2 heures par retournement, après addition des doses suivantes d'ammoniaque :

A et B, 10 gouttes de solution à 10 p. 100;

C et D, 25 gouttes de solution à 10 p. 100;

E et F, 1 gramme (état gazeux).

RÉSULTATS.

FRACTIONS.	A.	B.	C.	D.	E.	F.
24 μ,8 – 8 μ,7	16,2	17,2	13,0	13,2	13,0	14,8
8 μ,7 – 2 μ,5	16,6	15,6	19,8	20,2	19,6	17,0
2 μ,5 – 0 μ,8	8,4	8,6	5,8	6,4	5,8	9,4
0 μ,8 – 0 μ,3	9,8	8,4	18,8	17,2	17,0	14,8
0 μ,3 – 0	27,2	28,2	27,0	26,8	28,0	27,6
TOTAL	78,2	78,0	84,4	83,8	83,4	83,6

Il n'y a pas de grandes différences entre les pouvoirs de peptisation de ces diverses doses d'ammoniaque. Pour les doses les plus élevées les résultats des analyses sont même sensiblement égales.

En comparant les résultats de cette expérience avec ceux de l'expérience précédente, on voit que l'ammoniaque à différentes doses exerce, sur les particules de diamètre inférieur à 2 μ,5 des échantillons traités par H^2O^2 et lavés, une action peptisante plus grande que sur les particules de mêmes dimensions des échantillons non traités par H^2O^2 et que c'est l'action inverse qui se produit sur les particules de diamètre supérieur à 2 μ,5 ; dans tous les cas, les différences sont faibles.

Il ressort également de ces comparaisons que le traitement par l'eau oxygénée n'a qu'une faible action peptisante.

L'échantillon soumis à l'analyse renfermait une petite quantité d'humus. Après traitement par H^2O^2, les pertes étaient seulement de 0,87 p. 100. Au moment de la prise d'échantillon la perte au feu était de 14,59 p. 100; après traitement par H^2O^2, elle était de 14,43 p. 100.

De toutes ces recherches, on peut conclure que, sur une terre rouge, pauvre en matière organique et en matières solubles :

1° Le traitement par l'eau oxygénée et les lavages subséquents ne modifient pas sensiblement l'état de dispersion de la terre;

2° La soude augmente la dispersion dans des proportions considérables;

3° En comparaison, l'ammoniaque et l'oxalate de soude ont une action beaucoup plus faible.

Dans des recherches faites sur les terres rouges du Nord indochinois, Castagnol [1] est arrivé à des résultats qui, dans une certaine mesure, expliquent ceux que je viens de rapporter.

Suivant les observations de cet auteur, les terres rouges du Nord indochinois sont à un degré de décomposition très avancé. Elles ne renferment presque plus de débris minéraux de la roche primitive; presque tout le fer et toute l'alumine ont été mis en liberté à l'état de sesquioxydes; ce sont donc des terres très latéritisées.

Dans les sols en place, les débris minéraux qui forment les particules primaires sont réunies en groupes secondaires par le ciment de sesquioxydes. Ce ciment, toujours d'après Castagnol, qui est d'abord de nature colloïdale, se transforme par la suite et prend peu à peu une forme irréversible, amorphe ou cristalline. Pour isoler les particules primaires, il faut les séparer de leur «gangue» d'oxydes, en traitant, par exemple, les sols par HCl étendu et l'agitation prolongée. Castagnol a ainsi observé que, dans certains sols, les particules primaires n'entrent que pour moitié dans la constitution des groupements secondaires, l'autre moitié étant formée par le ciment de sesquioxydes.

De ces résultats, Castagnol conclut que toute analyse mécanique de sols très latéritisés est illusoire, parce que la dispersion complète de ces sols doit aboutir à une véritable pulvérisation des particules.

Je ne partage pas cette opinion. Il y a lieu, en effet, de considérer deux stades dans l'évolution des sesquioxydes qui circulent dans les horizons illuviaux :

1° Dans un premier stade, ils sont à l'état colloïdal et contribuent à former la partie colloïdale des agrégats;

2° Dans un deuxième stade, ils sont concrétisés. Ils forment le ciment amorphe ou cristallin qui relient les particules primaires; à cet état, ils sont donc compris dans la partie sableuse du sol.

---

[1] Castagnol (E.-M.), Principes et méthodes de l'étude moderne des sols, *Compte rendu des travaux* (1932-1933), *Institut des recherches agronomiques de l'Indochine*, Hanoï, 1934, pages 129, 132-133.

Castagnol et Ho-dac-vy, Étude comparée des principaux types de sols en place du Nord de l'Indochine, *ibidem*, pages 80, 186.

Si on admet cette manière de voir, on admettra également la possibilité de déterminer, par l'analyse mécanique, l'état d'évolution des particules. Il faudra évidemment, dans la préparation de l'échantillon, décomposer les groupements correspondant aux premiers stades des sesquioxydes (agrégats), mais respecter ceux qui *correspondent* aux deuxièmes stades (sables).

Pour ce qui est de nos expériences, il s'agit de savoir quelle a été au juste l'action du traitement à la soude.

PRINZIPIEN ZUR SICHERSTELLUNG DER KORNGRUPPEN DER MECHANISCHEN BODENANALYSE MIT BESONDERER RÜCKSICHTNAHME AUF GRÖBERE FRAKTIONEN,

VON

Dr VÁCLAV NOVÁK.

Die I. intern. Kommission beschäftigte sich in den letzten Jahren besonders mit der Vorbehandlung der Bodenproben für die mechanische Analyse, wie auch mit der Gruppierung der Bodenkörner.

Auf den Bodenkundlichen Kongressen in Washington und Moskau wurde der Standpunkt zur Vorbehandlung ziemlich einheitlich präzisiert. Einige weitere Verbesserungen wird auch die Sitzung der I. Kommission in Paris behandeln. Bei der Untersuchung einzelnen Kornfraktionen wurde bisher gute Einheitlichkeit nur in der Bestimmung des Rohtones (unter 0,002 mm.) erzielt (8 St. Sedimentierzeit pro 10 cm. Fallhöhe, Bestimmung mittels Dekantierung oder Pipettenmethode). *Die Sortierung der gröberen Bestandteile blieb im Ganzen noch offen.*

In der Angelegenheit der Gruppierung und Bestimmung der gröberen Fraktionen wurde seinerzeit eine Enquete im J. 1926 veranstaltet (siehe Proceedings of the II. und intern. Congress of Soil Science Commission I., Moscow 1932, S. 276-281), und in der Sitzung der I. Kommission in Rothamsted 1926, Washington 1927, Prag 1929 und Moskau 1930 wurde auch diese Frage behandelt.

Die bisherige Stellung-nahme zu diesem Problem ist im Beschluss des II. inter. Kongresses in Moskau (Proceedings II. Congress, Vol. I., I. Commission, S. XXVI) wie folgt präzisiert : «Für internationale Publikation soll nach Möglichkeit die Atterberg'sche Skala für Korngrösse (0,002, 0,02, 0,2, 2,0 mm.) benützt werden, die Fallzeiten müssen jedoch nach Stokes ausgerechnet werden. Wenn eine andere Skala angewendet wird, so werden die Resultate nach dem Vorschlag von Robinson graphisch umgerechnet».

Herr Kollege Hissink sprach in seiner Abhandlung in Soil Research 1932, III. 71-76 den Wunsch aus, die Frage der gröberen Partikel in der mechanischen Analyse zu verfolgen. Wie man aus dem oben Angeführten sieht, handelt es sich jetzt noch um die Vereinheitlichung der Bestimmungsmethodik für die Sicherstellung der angeführten Gruppengrenzen.

Zu diesem Zwecke richtete der Referent an einige Mitglieder der I. Kommission der Intern. Bodenkundlichen Gesellschaft, die sich viel mit der mechanischen Analyse beschäftigten, in einem Zirkular einige Fragen, wie folgt.

FRAGEBOGEN.

Welche von den Hauptmethoden der Feststellung der Bodentextur d. i. Pipettenmethode, Dekantiermethode, Spülmethode (event. auch Zentrifugieren) halten Sie für einzelne Grenzen als die zweckmässigste und genaueste, Begründung Ihrer Ansichten, Verweisung auf Literatur, eigene Erfahrungen und eventuelle neue Untersuchungen an heimischen Bodenarten.

Nach den bisherigen Untersuchungen zeigen sich folgende Normen als empfehlenswert :

Die Benützung der Pipettenmethode bei den feineren Körnern bis 0,05 mm., Dekantiermethoden für feinere Körner bis 0,05 mm., Spülmethoden für gröbere Körner, obere Grenze bis nach 0,01 (0,02), untere bis 0,1 (0,2) mm., Siebmethoden für grobe Körner 0,1 (besser 0,25) mm. und gröber (keineswegs für feinere Körner).

Stehen Ihre wissenschaftlichen und praktischen Erfahrungen in «Übereinstimmung mit diesen Angaben oder schlagen Sie andere Massnahmen vor?

II. Es wurde in der I. Kommission angenommen, dass die Sedimentier- (beim Fallen im ruhigen Wasser) und Spülgeschwindigkeiten (in aufsteigenden Strömen), das heisst auch die Ergebnisse der mechanischen Analyse beider Methoden gleichwertig sind. Welche ist Ihre Meinung oder Erfahrung? Wir bitten um eventuelle Nachprüfung dieser Frage an einigen Bodenproben.

III. Welchen Typus *a.* der Pipettenmethode, *b.* des Dekantierzylinders und *c.* des Spülapparates empfehlen Sie als Vergleichstypus für die anderen Modifikationen desselben Typus. (Bei der Pipettenmethode soll auch die Schnelligkeit des Absaugens in Betracht genommen werden).

IV. Für die Durchsiebung ist es in der Bodenkunde festgesetzt, Siebe mit runden Löchern anzuwenden. Können Sie eventuell ein System von Messingsieben (vielleicht auch die erzeugende Firma) angeben, welches für die bodenkundlichen Zwecken genügend genau empfehlenswert wäre? Oder empfehlen Sie für feine Korndimensionen auch Drahtsiebe?

Das Zirkular habe ich an 12 Herren abgesendet, von denen mir 6 Herren ihre Stellungsnahme mitgeteilt haben : Dr Hissink, Dr Robinson, Dr Keen, Dr Köhn, Dr Gracanin und Dr Zunker*.

In einigen Punkten konnte ich mich auf die Enquête über die Körnerfraktionen aus dem Jahre 1926 stützen (s. Proceedings of the II. intern. Congress of Soil Science, Commiss. I. Moscow 1932, S. 276-281), zu der 12 Fachleute ihre Stellungsnahme geäussert hatten.

* Da die «Äusserung von Kollege Zunker zu spät gekommen ist, konnte sie nicht völlig berücksichtigt werden. Methodische Erfahrungen von Zunker sind in der Abhandlung : «Die mechanische Bodenanalyse für Kulturtechnische Zwecke» in Lemmermann's Methodenbuch, II. Aufl., zu finden.

Theoretisch wurde die Mehrzahl der Fragen betreffs die Klassifizierung der Fraktionen in zahlreichen Arbeiten behandelt und meines Erachtens sind weitere internationale Vergleichs-Analysen nicht mehr nötig, sondern nur Vereinbarungen über die Einhaltung bestimmter Grundsätze für die Bestimmung bezw. Sicherstellung der Hauptdimensionen der Bodenkörner.

Die Unstimmigkeiten, auf die Dr. Hissink aufmerksam gemacht hat, besonders in Bezug auf das Nichtübereinstimmen der Ergebnisse bei der Spül- und bei der Dekantierungs-Methode und bei der Verwendung von Sieben, beruhen in der Regel auf Abweichungen in der Manipulationstechnik der einzelnen Methoden, speziell soweit es sich um Vorgänge handelt, bei denen die Subjektivität der Manipulation nicht ausgeschlossen ist (bei Hand und nicht Maschinenarbeit). Dazu kommt noch überdies der spezifische Charakter der untersuchten Böden.

Sonst gehen die Analysen verschiedener Institute bei einer und derselben Methode häufig stark auseinander, das kann man nicht leugnen.

(Als Beispiel nenne ich die bisherigen Erfahrungen der I. inter. Kommission mit mechanischen Vergleichs-Analysen, vergl. die Konferenzen in Rom, Rothamsted u. Leningrad.)

Erwägen wir aber, dass im Gegensatz dazu eine Reihe von Instituten bei internat. Vergleichs-Analysen eine ausgezeichnete Uebereinstimmung gezeigt hatte, müssen wir zu dem Schlusse kommen, die auffallenden Abweichungen der anderen Institute wären durch zufällige Umstände und Irrtümer oder durch ein ungenügend eingearbeitetes Instituts-Personal u. a. zustande gekommen. Man kann also die Frage der internat. Vereinbarung in den gröberen Fraktionen auch günstig ansehen.

Ich möchte aus der reichhaltigen Literatur über die mechanische Analyse herausgreifen und hinweisen einerseits auf die Comptes Rendus der bodenkundlichen Konferenzen und Kongresse und andererseits aus der Reihe der anderen zusammenfassenden Arbeiten der letzten Jahre besonders auf folgende Bücher und Aufsätze :

Hahn, F. V. — Dispersoidanalyse. Dresden-Leipzig 1928;

Köhn, M. — Beiträge zur Theorie und Praxis der mechanischen Bodenanalyse, Landwirtschaft. Jahrbücher 1928, S. 485, 546, Bemerkungen zur mechan. Bodenanalyse (Zeitschr. f. Pflanzenern. A, 9, 10, 11);

Gessner H. — Die Schlämmanalyse. Leipzig 1931, in denen viele Probleme, die uns in unserem Referate interessieren, umfassend bearbeitet sind, so dass wir uns bei der Beschlussfassung über die internationale Einheitlichkeit an sie anlehnen können (für die Pipettenmethode vergleiche auch *Köttgen* u. *Heuser* (Zeitschr. f. Fflanzenern. A, Bd 13 und 19).

Zur Festsetzung der international empfohlenen Körner-Gruppen nach der Skala : 0,002, 0,02, 0,2, 2,0 ist es zweckmässig sich vor allem über die *Leistungsgrenzen* (bezw. über den Radius der Leistungsfähigkeit) der einzelnen Bestimmungsmethoden klar zu werden. Wir wollen also die Richtlinien, die durch die bisherige Literatur und Erfahrungen für die Hauptmethoden gegeben sind, nach der Reihenfolge ihrer Eignung und der Feinheit des Korns behandeln : die Pipette-Methode, Dekantierungs-Methode, Spül-Methode und Sieb-Methode. (Besondere Apparate und speziell verschiedene Fallröhren zur kontinuierlichen Registrierung der Fallkurven ziehen wir hier nicht in Erwägung.)

Es ist wohl zweckmässig noch auf folgenden Umstand aufmerksam zu machen :

Ein Beschluss der I. Kommission besagt : « Die Fallzeiten müssen nach Stokes ausgerechnet werden ». (Proceedings, Moscow 1932, Vol. I. S. XXVI.)

Da aber die Stokes'sche Formel nur bis zum Ausmass von 0,05 (nach Anderen 0,085 mm.*) gilt, ist es klar, dass dieser Grundsatz für gröbere Dimensionen bei Anwendung der Sedimentierung im Wasser keine Geltung haben sollte und deshalb ist es gar nicht verwunderlich, dass man bei Anwendung verschiedener Methoden für gröbere Fraktionen als 0,05 mm. nicht immer die gleichen Resultate erhält!

Hierin muss man ebenfalls einen der Gründe für die bedeutenden Differenzen suchen, die Hissink fand. (Soil Research, III. 1932, No. 3, p. 73, table I., wo schon die Fraktion 76-152 u. grosse Unterschiede besonders gegenüber der Siebmethode aufweist.)

ANMERKUNGEN ZUM AKTIONSRADIUS DER HAUPTMETHODEN BEI DER MECHANISCHEN BODENANALYSE.

I. Die Pipette-Methode.

Die Pipette-Methode kann nur nach Präparierung der Erdarten gemäss der internat. Methode A, nicht gemäss Methode B, zur Anwendung kommen. Die Beseitigung der Elektrolyte auch bei der A-Methode ist die Hauptbedingung für ihre Richtigkeit (s. Gessner l. c.).

* Bei Ueberprüfung an Hand der Ossen'schen Formel kommt man zu einer Giltigkeitsgrenze der Stokes'schen Formel bis ca. 0,05 mm./s. Gessner, l. c. S. 21/. Aeltere Angaben sind 0,085 (Allen, Arnold, s. Wiegner, Boden u. Bodenbildung S 67). Es ist klardass man ober 0,1 mm. die Stokes'sche Formel überhaupt nicht benutzen kann, bei der Korngrösse 0,05 mm. ist sie bereits ungewiss.

Die Bedachtnahme auf gleichmässige Temperatur ist hier wichtiger als bei jeder anderen Methode und muss streng eingehalten werden.

Es empfiehlt sich, die Ausmasse der Sedimentierzylinder zum Pipettieren auf einen inneren Durchmesser von minimal 6, maximal 8 cm. zu uniformieren.

Der grösste Korndurchmesser, den man durch Pipettieren genau bestimmen kann, ist nach den bisherigen Arbeiten mit 0,02 (0,01) mm. als Grenze festzusetzen. Diese Grenze empfehlen auf Grund der Resultate eines Rundschreibens in England Dr Robinson und Dr Keen, weiters Dr Gracanin u. a. Dr Köhn setzt die Grenze für das Pipettieren bis auf 0,05 mm. Dr Gracanin macht aber aufmerksam, dass die Grenze 0,05 bereits allzu grob und das Pipettieren dabei zu ungenau sei, denn bei 20° C. ist die Sedimentierungszeit 44,2 Sek. und bei der Zeit von 17-22 Sek., die das Pipettieren darstellt, werden Teilchen bereits einen Weg von ca. 4 cm. zurückgelegt haben. (In 8,84 Sek.- 2 cm.)

Die Zeitdauer zum Ansaugen einer Bodensuspension bei der Probenentnahme mit der Pipette.

Dr Köhn (Zeitschr. f. Pflanzenernährung A. 21, S. 211-222) ist der Meinung, dass die Ansauge-Schnelligkeit bei einer Wassersuspension keine Rolle spielt, sondern sich nur bei Flüssigkeiten von hoher Viskosität geltend macht Die Ansichten Anderer (Robinson, Gracanin, zu denen sich auch der Referent auf Grund eigener Erfahrungen gesellt) lauten nicht so günstig und es wäre sicherlich sehr zweckmässig, für die Ansauge-Schnelligkeit einheitliche Normen vorzuschreiben.

Robinson empfiehlt für den Pipetteinhalt von 20 ccm. eine Ansauge-Schnelligkeit von 30-45 Sek. für «Clay» und 20 Sek. für «Silt». Gracanin empfiehlt für seinen Pipette-Apparat 17-22 Sek.

Der Referent empfiehlt als einheitliche Norm für das Ansaugen von 20 ccm. die Zeit von ca 20 Sek. für jedwede Fraktion, die kleiner ist als 0,02 (0,01) mm.

Als Ansauge-Verfahren wählt man am besten das Ansaugen durch Luftpumpe oder mit Hilfe von Saugern (Exhaustoren), die auf eine bestimmte Luftmenge eingerichtet sind (z. B. Gummibalons u. ähnl. wie Koettgen oder kleine Metallpumpen) und bei denen man die Ansaugezeit gut regulieren kann.

Die Einrichtung der Pipette-Apparate für Analysen en masse setzt bloss die Einhaltung der oben zitierten Grund-Vorschriften voraus. Die technische Einrichtung kann nicht vorgeschrieben werden und muss der Erfahrung und dem Bedarf der Einzelnen Institute überlassen bleiben. Es empfiehlt sich

Pipetten mit Zwei oder Dreiweg-Hähnen zu verwenden und es wird auf folgende, spezielle und praktische Einrichtungen aufmerksam gemacht :

a. Der Apparat der Fa. A. Gallenkampf and Co. Ltd. 17/29, Sun Street, Finsbury Square, London E. C. 2;

b. Die Apparatur nach Köhn (Zeitschr. f. Pflanzenern. A, 1928, XI, S. 50-54): fa Bartsch, Quillitz and Co, Berlin NW 40, Heidestr. 55.

c. Die Apparatur nach Gracanin (Glasnik za Sumske pokuse 3, Zagreb 1931);

d. Die Apparatur nach Koettgen (Zeitschr. f. Pflanzenern. A, 13, 1929);

e. Die Apparatur nach G. Krauss. (Intern. Mitt. f. Bodenkunde. XIII, 1923, S. 147 u ff.)

Wo nicht Laboratorien mit konstanter Temperatur zur Verfügung stehen, verdient die Anordnung der Pipette-Zylinder im Thermostat nach Köhn's Anweisung Beachtung (vergl. Abbildung, bisher unveröffentlicht, vom Autor zur Verfügung gestellt). Sonst muss man einzeln in Dewar- oder Thermosflaschen arbeiten.

Die Pipette-Methode empfiehlt sich, da sie schnell, einfach und billig ist, wodurch sie auch die Dekantierungs-Methode verdrängt. Nach einer Reihe von Autoren (Robinson, Köhn usw.) stimmen die Ergebnisse der Pipette-Methode mit den Ergebnissen der Dekantierungs-Methode überein.

Die Vorzüge der Pipette-Methode kennzeichnet Gracanin in der Antvort auf das Zirkular folgendermassen :

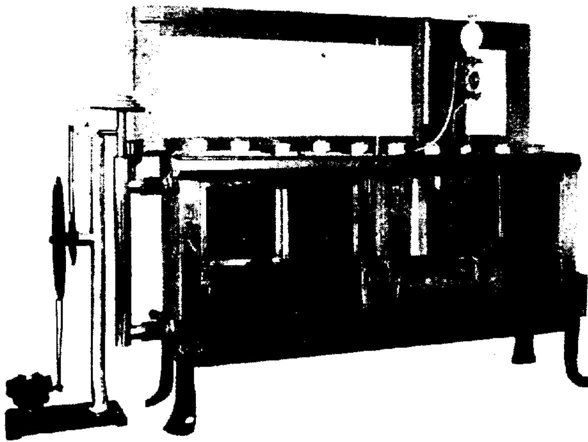
a. «Die Ausführung der mechanischen Analyse bei beinahe konstanter Konstellation der äusseren Faktoren (besonders Temperatur) die die Fallgeschwindigkeiten der Bodenteilchen beeinflussen, — ist bei der Pipettemethode erheblich leichter;

b. Die systematischen Fehler der Dekantationsmethode, die durch die Konstruktion der Apparate, als auch durch lange Dekantationsarbeit bedingt werden, kommen bei der Pipettemethode weniger zum Ausdruck;

c. Die Pipettemethode erspart sehr viel an Zeit und Geld.»

Die internationalen Vergleichs-Analysen mit dieser Methode — die zwar nur in wenigen Instituten durchgeführt wurden — brachten keineswegs günstige Resultate. Die Ergebnisse der Pipette-Methode sind in der Regel geringer als die der Dekantierungs-Methode. (S. Proceedings Internat. Congress, Moscow, Vol. I. p. 27-28 and 31-37) und selbst das Pipettieren brachte grosse Abweichungen innerhalb der einzelnen Institute. Von einer kleinen Anzahl von Instituten kann man allerdings keine bindenden Deduk-

tionen ableiten. Es bleibt zum mindesten ein Faktum, dass sich Gipsböden für das Pipettieren nicht eignen und dass man die Pipette-Methoden für umfangreichere Arbeiten *en masse* ohne spezielle Filtrationseinrichtunge zur Beseitigung der Elektrolyte nicht als besonders geeignet ansehen kann und die Dekantier-Methode bleibt deswegen bislang als die zuverlässigere bestehen.



Anordnung der Pipette-Zylinder im Thermostat nach Kohn.

Der Einfluss der Elektrolyte auf das Pipettieren zeigt sich auch klar bei den Analysen nach Methode B (ohne Beseitigung von CO^3Ca und Humus) an den äusserst niedrigen Werten der Tone (wohl zwar nicht bei allen Böden und allen Vorbehandlungsmethoden. Vergl. Congress Moscow, Vol. I. p. 31-37).

II. Dekantier-Methoden.

Die Dekantiermethoden sind zuverlässig bis zum Durchmesser von 0,05 mm. höchstens bis 0,1 mm., keineswegs gröber, mit Rücksicht auf die Giltigkeitsgrenzen der Stokes'schen Formel. Im Gegensatz zu den Pipette-Methoden sind sie langwieriger und wesentlich teuerer, worauf eine Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten hingewiesen hat. Theoretisch stimmen Pipette- und Dekantier-Methoden überein, praktisch ist diese Uebereinstimmung nicht immer so vollkommen (s. oben unter Pipette-Methode) besonders in Fällen,

bei denen die Beseitigung der Koagulations-Elektrolyte aus der Suspension (spez. bei Salzböden) nicht vollkommen möglich ist, wofür die länger währende Dekantier-Analyse sichere Gewähr bietet.

Die oben angeführten Gründe führten zu Vorschlägen, die Dekantier-Methoden aufzugeben und für feinere Fraktionen bloss die Pipette-Methoden anzuwenden (Köhn). (Ein anderer Vorschlag ist, das Pipettieren bis 0,02 mm., für gröbere Teilchen über 0,02 mm. Siebe und in den Zwischenraum von 0,02-0,2 mm. für die weitere Fraktionierung die Interpolation auf den Summierungs-(Integral) Kurven anzuwenden (Vorschlag von Robinson.)

Diese Anschauungen können nur zum Teil bei der mechanischen Analyse Geltung erlangen und zwar nur dann, wenn nach Methode A präpariert wurde (Beseitigung von Humus und CO^3Ca).

Wo aber aus gewichtigen Gründen (besonders im technischen, wasserwirtschaftlichen Dienst, bei Studium der Festigkeit der Agregate u. a.) *die Präparierung nach Methode B vorgenommen wird* (ohne Beseitigung von Humus und CO^3Ca), *dort müssen die Dekantier-Methoden beibehalten bleiben*, besonders zur Feststellung feinerer Fraktionen speziell für das Ausmass 0,002 mm. (physikalischer Ton). Zur Bestimmung des physikalischen Tons, welche das gebräuchliche Spülverfahren ziemlich oft vervollständigt, kann bei Benützung der B-Methode das Pipettieren nicht angewendet werden.

Ausserdem kann man aus weiteren, bei der Pipette-Methode angeführten Gründen dieser nicht den bedingungslosen Vorzug geben.

Der Atterberg'sche Zylinder wurde wegen einer Reihe technischer Mängel bereits auf früheren Konferenzen nicht mehr als Vergleichsapparat für Dekantierungen empfohlen. *Köttgen* und *Gracanin* empfehlen zur Vergleichung der Dekantier-Methoden die *Novak*'sche Modifikation, *Köttgen* mit einer event. Modifizierung des Ausflussrohres.

III. Spülverfahren.

Die Spülverfahren, die mit aufsteigenden Wasserströmen arbeiten, sind für die Klassifizierung gröberer Fraktionen sehr praktisch, da man mit ihnen automatisch die Böden gleichzeitig in mehrere Fraktionen sortieren kann.

Technisch kann man bei ihnen die Grenze von 0,02 (0,01) mm. nicht überschreiten und für kleinere Dimensionen muss man bedingungslos Dekantier- oder Pipette-Methoden anwenden. Zur Sortierung gröberen Sandes als 0,1 mm. sind die Spül-Methoden nicht mehr zuverlässig und man muss dafür Siebe verwenden.

Als Vergleichstyp für Spül-Apparate wird der Apparat nach *Kopecky* empfohlen. (Köhn empfiehlt bloss den mittleren und den engen Zylinder, den birnenförmigen, breitesten schaltet er aus).

Die Dekantier-und die Spülmethode.

Kann die Spülmethode die Dekantier-methode ersetzen oder vertreten ?

Die Spül-Methoden waren nach den bisherigen Erfahrungen für die Sortierung gröberer Fraktionen als 0,01 (0,02) mm. geeignet. Diese gröberen Fraktionen sortieren wir auch mit Hilfe der Dekantierung event. durch Siebe. Da wir bei Sieben als äusserste Grenze 0,2 (0,1) mm. annehmen, kommt also nur die Möglichkeit eines Ersatzes der Spül- für die Dekantier-Methode in Betracht.

Die I. internat. Kommission hat früher den Grundsatz aufgestellt : Sedimentiergeschwindigkeit in ruhigem Wasser und Spülgeschwindigkeit in aufsteigendem Wasserstrom sind gleichwertig.

Praktisch sollen also die mit den Spül- und Dekantier-Methoden erzielten Ergebnisse übereinstimmen. (Das haben Novàk, Mieczynski schon früher bestätigt, in der heutigen Enquête stimmt damit auch Köhn auf Grund seiner Erfahrungen überein. Auch Zunker hält Wassergeschwindigkeit und Fallgeschwindigkeit für gleichwertig.) Demgegenüber lauten die Erfahrungen einiger Pedologen anders und auch entgegengesetzt.

Besonders Gracanin stimmt mit diesem Prinzip nicht überein und behauptet auf Grund seiner Erfahrungen, dass sich die Ergebnisse nicht gleichen : «Der Hauptgrund dieser Verschiedenheit der Analysen-ergebnisse soll u. E. vornehmlich in verschiedenen Analysebedingungen der beiden Methoden gesucht werden. Es ist bedeutend leichter die Geschwindigkeit des Wasserstromes im Spülapparate als die Fallgeschwindigkeit der Bodenkörner im Dekantationszylinder konstant zu halten. Die Temperatur des Dispersionmittels im Dekantationszylinder osziliert erheblich mehr, als die Wassertemperatur im Spülapparat».

Die Resultate, zu denen Hissink (Soil Research III., 1932, S. 73) auf leichten Sandböden kam, sind bei Vergleich der Spül- und Dekantier-Methoden ebenfalls nicht zufriedenstellend. Er gibt folgende Tabelle an :

	FRACTION (16-76 μ.)	FRACTION 76-152.	FRAKTION 152-2.000.	TOTAL 16-2000 μ.
a. Decantation	1.1	38.6	54.7	97.4
b. Elutriation	2.5	45.5	49.4	97.4
c. Sieves	1.8	19.4	76.2	97.4

Die Nachprüfung der Hissink'schen Angaben konnte nicht stattfinden, da wir die betreffende Probe nicht zur Verfügung hatten. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen, können wir günstigere Resultate anführen :

Zuerst haben wir 3 Proben, die uns von Hissink zugesandt wurden, kontroliert (Probe B 5172, B 5173, B 5168) und gefunden :

TABELLE.

		KLEINER ALS 0.015 mm.	0.015 - 0.048 mm.	0.048-0.09 mm.	0,09-2.0 mm.
B 5172	Spülap.	12.3	2.8	44.0	40.9
	Dekant.	15.9	6.2	45.3	32.6
B 5173	Spülap.	2.6	0.2	2.0	95.2
	Dekant	2.5	0.2	2.7	94.6
B 5168	Spülapp	1.5	0.0	0.2	98.3
	Dekant.	1.1	0.0	0.2	98.7
463 40-50	Spülapp	9.9	6.9	11.3	71.9
	Dekant.	11.4	5.6	8.7	74.3
133 70-80	Spülapp	49.5	33.3	7.3	9.8
	Dekant	52.9	33.2	7.3	6.6

Die Differenzen bei so losen Sandböden sind nicht so gross, nur bei der Probe B 5172 sind sie wesentlicher. Die Ursache konnte nicht festgestellt werden.

Es ist merkwürdig, das die Analysen in den beiden Instituten, was die Dekantation betrifft, nicht in Uebereinstimmung sind. Die Analysen von Brünn weisen einen allgemein höheren Gehalt an Rohton (0,002) (ungefähr zweimal so hoch) als dieselben von Groningen auf; z. B. bei der Probe B 5172 wurde an Rohton in Groningen 5,5 p. 100, in Brünn 11,9 p. 100 (berechnet auf die Karbonat- und Humusfreie Masse) gefunden. Wo die Ursache liegt, konnte man nicht feststellen.

Ausserdem haben wir mehrere lehmigere Bodenarten nachgeprüft, wir führen wegen Raummangel nur 2 Beispiele an (Siehe Tabelle).

Es wird selbstverständlich vorausgesetzt, dass die Dekantier- und auch die Spülmethode im destillierten Wasser durchgeführt werden.

Aus dem Vergleich ergibt sich, dass die Uebereinstimmung der Resultate der Spülverfahren und der Dekantier-Methoden bei feineren Fraktionen bis 0,05 mm. gut ist, weniger sicher aber bei gröberen Fraktionen. Die Untersuchung gröberer Sandfraktionen ist beim Dekantieren sehr erschwert und unpraktisch, weswegen es sich empfiehlt, nicht weiter zu dekantieren als bis zum Durchmesser von 0,05 mm. und gröbere Fraktionen der Sortierung durch Siebe zu überlassen, event. bis zu 0,2 (0,1) mm. die Spül-Methode anzuwenden.

IV. SIEBE.

« Über die Theorie der Siebe vergleiche *Gessner* l. c. S. 131, ff. Was die Verwendung von Sieben betrifft, gehen die Ansichten der Pedologen auseinander. Es gibt keine einheitliche Stellungsnahme betreffend : *a.* die Form der Löcher, rund oder quadratisch; *b.* die Grenzen der Korngrössen, für die bei genügender Genauigkeit Siebe noch Verwendung finden können. Der Beschluss der I. Kommission über die Probenvorbehandlung für die mechanische Analyse (Congress Moscow, Vol. I., S. XXVII) hat die Scheidung des Bodenskeletts über 2 mm. Durchmesser « von der Feinerde » durch Siebe mit runden Löchern eingeführt.

Gegen Verwendung von Sieben mit runden Löchern gerade zu diesem Zwecke gibt es im Wesentlichen keinen Einwand. Auch für die Dimension von 1 mm. kann man Siebe mit runden Löchern anstandslos verwenden. Praktisch wurden Siebe mit runden Löchern bis zu Dimensionen von 0,25 resp. 0,2 mm. verwendet (in Mittel-Europa), andererseits wird behauptet, dass das Sieben durch runde Löcher bloss nur bis zu 1 mm. genaue Resultate ergibt (Köhn).

Die interpellierten Pedologen, die sich mit der Siebmethode mehr beschäftigt haben, sind der Ansicht, dass man Siebe auch für kleinere Dimensionen als 1 mm. verwenden kann, aber es müssen Drahtsiebe mit quadratischen und nicht runden Löchern sein. Für Drahtsiebe sind Hissink, Robinson, Keen, Köhn und Zunker.

Es ist sicher, dass Siebe mit runden Löchern für feinere Dimensionen bedeutende Schwierigkeiten bereiten, sie verstopfen sich leicht. Die Ursache davon ist die verhältnissmässig starke Platte, in welche die Löcher perforiert werden, was das Durchfallen von unregelmässigen Körnern erschwert und überdies, dass die Anzahl der perforierten Löcher auf die Flächeneinheit hier nicht so gross sein kann wie bei aus Drahtgeweben hergestellten Sieben.

Die Mehrzahl der Meinungen empfiehlt aber auch bei den feinsten Drahtgeweben nicht unter die Grenze von 0,2 mm. (0,1) zu gehen (Robinson, Keen, Köhn, Zunker) in Uebereinstimmung mit dem oben genannten Ausmass von 0,2 mm. für runde Löcher. Diese Siebausmasse von 0,2 mm. hat auch Atterberg eingeführt.

Bloss Hissink empfiehlt die Anwendung von Gewebesieben auch für kleinere Dimensionen bis 0,04 mm. (Er verwendet das maschinelle Sortieren auf Sieben der Fa. W. S. Tyler Co. Cleveland, Ohio, mit der Skala (Maschenanzahl auf 1 cm^2) : 16, 30, 62, 122, 190, 357, 655, 1550, 3488, 6200, 16370, Dimension der Maschen in mm : von 1.651 bis 0.043. Hissink sortiert mit Sieben den Anteil nach dem Abdekantieren der Fraktionen I. und II. (0,002, 0,016). Dr Köhn und Zunker empfehlen die Siebe DIN 1171

(Präzisions-Normensiebe) der Fa. Chemisches Laboratorium für Tonindustrie, Berlin NW 21, Dreysestrasse 4. Berlin, mit 18 Dimensionen von der Maschenzahl 16 bis 10000 auf 1 cm² bezw. lichte Maschenweite von 1.5 bis 0,06 mm.

Hissink unterstreicht richtig, dass das Sieben erleichtert und ermöglicht wird durch das Reinigen der Bodenprobe von Bodenüberzügen und Beimischungen resp. durch das Beseitigen von Humus und $CaCO^3$ nach Methode A. Nur derart gereinigter Sand verstopft nicht die Löcher, nicht einmal bei der Dimension von 0,043 mm.

Anweisung für das Durchsieben : Lose Sande sind wenigstens im Wasser gut mit steifen Pinsel zu behandeln oder besser mit schwacher Säure auszukochen, bei humosen Sandböden den Humus entfernen, am besten nach der Methode A (mit Wasserstoff-superoxyd H^2O^2).

Indem ich die oben angeführten Probleme zur Diskussion stelle, lege ich gleichzeitig Vorschläge für eventuelle Stellungsnahme der I. Kommission zu der Korngruppierung vor.

VORSCHLÄGE.

Im Sinne der bisherigen, von der I. internationalen Kommission für Mechanik und Physik des Bodens ausgearbeiteten Normen kommen für die Kornklassifizierung folgende Fraktionsgrenzen in Betracht : 0,002, 0,02, 0.2, 2,0 (die detailliertere Klassifizierung bleibt dem freien Ermessen überlassen). Soweit es sich um andere Skalen handelt, mögen ihre Resultate mit Hilfe der Integral-Kurven auf die internationale Skala überführt werden.

Die Gewinnung und Sicherstellung der erwähnten Korngrenzen kann unter Anwendung verschiedener Methoden erzielt werden, von welchen am häufigsten Anwendung finden : Die Pipette-Methoden, Dekantier-Methoden, Schlämm-Methoden und die Sortierung durch Siebe.

Als genügend genaue Sicherstellung der richtigen Korndurchmesser und der allgemein vergleichbaren Resultate von mechanischen Analysen werden folgende internationale Normen festgesetzt :

Zur Sortierung gröberer Körner als 0,002 mm. (für diese Grenze selbst gelten 8 St. Sedimentierzeit bei 10 cm Sedimentierhöhe und bei 20° C.) wird *die Stokes'sche Formel* bis zur Dimension 0.2 mm. (0,1 mm.) angewendet. ***Für gröbere Teilchen als 0,2mm. (0,1) werden grundsätzlich genaue Siebe empfohlen.*** Bei der Schöne'schen Skala muss von den Spülgeschwindigkeiten ausgegangen und die Korndimensionen müssen nach der Stokes'schen Formel umgerechnet werden (siehe z. B. Gessner l. c.)

ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE : ES WIRD EMPFOHLEN, FEINERE FRAKTIONEN ALS 0.2 (0.01) MM DURCH DEKANTIEREN ODER PIPETTIEREN, GRÖBERE BIS 0.2 (0.1) MM MIT HILFE VON SPÜLAPPARATEN UND DEN SAND GRÖBER ALS 0.2 (0.1) MM MIT SIEBEN ZU SORTIEREN.

Grundsätze für die Bestimmungsmethoden.

Pipette-Methoden.

Es empfiehlt sich, die Pipette-Methoden bloss bis zu 0,02 (0,01) mm. Korngrösse, keineswegs für gröbere anzuwenden.

Die besondere Bedachtnahme auf die Temperatur erfordert Räume mit konstanter Temperatur oder für die einzelnen Sedimentierzylinder Dewar oder Thermosflaschen, für Massen-Analysen eine Adaptierung der Sedimentierzylinder in Thermostaten.

Der Durchmesser der Sedimentierzylinder für das Pipettieren soll nicht kleiner sein als 6 cm. und nich grösser als 8 cm.

Die Vorbereitung der Probe zum Pipettieren setzt die Präparierung nach der internat. Methode A und eine gründliche Beseitigung der Koagulations-Elektrolyte voraus.

Die Pipetten mögen mit Zwei oder Dreiweg-Hähnen versehen werden, es empfiehlt sich zum Ansaugen eine Luftpumpe oder eine andere Pumpe zu verwenden; als Ansauge-Zeit gilt für jedwede Fraktion für eine Pipette von 20 ccm. ca 20. Sek.

Von den bestehenden Pipette-Apparaturen werden zur Überprüfung empfohlen :

a. Der Apparat der Fa. A. Gallenkampf et Co. Ltd. 17/29. Sun Street, Finsbury Square. London E. C. 2.

b. Die Apparatur nach Köhn, Fa. Bartsch, Quillitz et Co. Berlin, NW 40 Heidestr. 55).

c. Die Apparatur nach Gracanin (Glasnik za sumske pokuse 3, Zagreb 1931).

d. Die Apparatur nach Koettgen (l. c.).

e. Die Apparatur nach G. Krauss/Intern-Mitt. f. Bodenkunde XIII. 1923, S. 147 u. ff).

Die Dekantier-Methoden.

Die Dekantier-Methoden werden bis zur Grenze von 0.05 mm. — nicht gröber — empfohlen. Die Dekantier-Methoden gelten als gleichwertig mit den Pipette-Methoden. Als Vergleichs-Methode für feinere Fraktionen möge jedoch die Dekantier-Methode Anwendung finden.

Die Dekantier-Methoden sind unentbehrlich bei mechanischen Analysen von Erden, die nach der internationalen Methode B präpariert wurden. Der Durchmesser der Dekantierzylinder sei nicht kleiner als 6 und nicht grösser als 8 cm.

Für Vergleichs-Dekantierung wird der Dekantierzylinder in der Adaptierung nach Novak* (event. modifiziert nach Koettgen) empfohlen.

Spül-Methoden.

Die Spül-Methoden sind für Analysen in gewöhnlichem Wasser und für technische Zwecke im Intervall von 0,02 (0,01) mm.-0,2 (0,1) mm., empfehlenswert.

Als Vergleichstype eines Spül-Apparates wird der Kopecky'sche empfohlen.

Die Spül- und Dekantier-Methoden sind fürgröbere Fraktionen als gleichwertig anzusehen.

Die Anwendung von Sieben.

Zur Trennung der Feinerde vom Bodenskelet (Grenze 2,0 event. 1 mm.) und zu weiteren Sortierung des Skeletts (gröber als 2.0 mm.) kann man Siebe mit runden Löchern verwenden. Zur Sortierung von Sand mit kleinerem Ausmass als 2,0 mm. (1,0) mm. sollen Draht-siebe mit quadratischen Löchern Anwendung finden. Die Wahl der mit Hilfe von Sieben sortierten Sandfraktionen wird dem verfolgten Zwecke angepasst und ausser den Hauptgrenzen der Fraktionen, wie oben angedeutet, nicht international normalisiert. Als kleinste Dimension für die Siebsortierung wird 0,2 (0,1) mm. festgesetzt. Es wird die Verwendung von Sieben folgender Firmen empfohlen :

a. Präzisions-Normensiebe, Chemisches Laboratorium für Tonindustrie, Berlin, NW 21, Dreysenstrasse 4;

b. W. S. Tyler Company, Cleveland, Ohio.

Beim Durchsieben ist der mechanischen Maschinenarbeit Vorzug zu geben.

Bei mit Hilfe von Sieben durchgeführten Sandanalysen soll immer der Ursprung der verwendeten Siebe angegeben werden.

Die Genauigkeit des Durchsiebens ist nur dann garantiert, wenn die betreffende Erdeart oder der Sand nach der intern. Methode A präpariert ist, bei Mineralböden wenigstens nach dem Auskochen mit verdünnter Salzsaüre (ca 0,2 n).

---

* *Bulletin des Instituts de Recherches agronomiques de Tchécoslovaquie*, No 3. Prague, 1925, p. 62.

MÉTHODE

D'ANALYSE MÉCANIQUE DU SOL[1],

PAR

LE PROF. Dr EUGENIO MORALES CHOFRÉ,

INSTITUT DES RECHERCHES FORESTIÈRES DE MADRID.

L'auteur critique l'emploi de moyens chimiques amenant la destruction de certains corps, du calcaire notamment, dans l'analyse mécanique des sols. Il conclut par la nécessité d'une réforme de la méthode internationale et de la terminologie qui y est utilisée.

Pour éviter les inconvénients susdits, l'auteur a établi la méthode d'analyse suivante.

Méthode d'analyse.

L'échantillon de terre séché à l'air, à l'abri de l'atmosphère du laboratoire, est passé sur des tamis de 5 et de 2 millimètres (sans passer au mortier). On met à part la portion de terre ayant un diamètre inférieur à 2 millimètres. Puis on ajoute, sous les tamis de 5 et de 2 millimètres, des tamis de 1 millimètre et de 0 millim. 5 et l'on continue le tamisage sous un courant d'eau. On obtient ainsi un délitement des particules de terre retenues sur les tamis qui donne de nouvelles particules inférieures à 2 millimètres. On sèche à 105° et l'on pèse les fractions de terre restant sur les tamis (A).

150 grammes de terre de diamètre inférieur à 2 millimètres sont ensuite tamisés à sec sur un tamis de 1 millimètre puis de 0 millim. 5. Les fractions restant sur le tamis sont alors traitées par un courant d'eau comme pour A (B).

On additionne les poids des fractions de même diamètre obtenues par les opérations A et B.

L'auteur estime que de cette façon il obtient la proportion de particules terreuses «libres dans le sol».

L'analyse se continue sur la terre ayant moins de 0 millim. 5 de diamètre.

Dispersion et séparation des colloïdes. — 25 grammes de terre sont placés dans une capsule de porcelaine avec 250 centimètres cubes d'eau distillée et chauf-

[1] Résumé établi par M. Henin d'un mémoire de l'auteur.

fée à 70°. On ajoute alors 10 centimètres cubes de NaOH (2N), on laisse digérer 3 heures à cette température en agitant de temps à autre. Dans ces conditions, la dispersion complète des colloïdes est réalisée. On laisse refroidir et l'échantillon ainsi préparé est placé dans l'appareil de lévigation.

La lévigation sépare les particules du sol en quatre groupes :

a. Diamètre inférieur à 0 millim. 003 (argile + humus) dans 4 litres d'eau;

b. Diamètre de 0 millim. 05 à 0 millim. 003 dans 4 litres d'eau;

c. Diamètre de 0 millim. 2 à 0 millim. 05 dans le tube large (voir plus loin);

d. Diamètre de 0 millim. 5 à 0 millim. 2 dans le tube étroit (voir plus loin).

Il y a parfois un peu d'argile en suspension dans le liquide de *b*, dans ce cas on décante ce liquide dans *a*. On flocule les colloïdes en suspension dans *a* par NO^3H et le floculat est recueilli sur filtre, séché à 105°, pesé, puis calciné et pesé à nouveau. On a ainsi l'argile et l'humus (on admet 10 p. 100 d'eau dans l'argile séchée à 105°).

Les autres fractions sont également recueillies et séchées, on peut y doser la matière organique et le calcaire.

Appareillage.

L'appareillage employé pour effectuer la séparation des particules consiste en tamis jusqu'au diamètre de 0 mm. 5 et en appareil de lévigation pour les diamètres inférieurs. L'appareil de lévigation est du type Schöne, mais il y a deux allonges en série; une petite (surface intérieure 2 cm² 39) et une grande (surface intérieure 17 cm²). Deux vitesses d'écoulement différentes du liquide entraîneur permettent de recueillir à l'orifice inférieur du tube piézométrique les particules de diamètre moindre que 0 mm. 003 et celles de diamètre compris entre 0 mm. 05 et 0 mm. 003.

Un autre appareil est à l'étude en vue de remplacer celui-ci. L'échantillon de terre préparé est placé dans un récipient au-dessus d'une allonge de 1 mètre de haut et 4 centimètres de diamètre avec laquelle il communique par un robinet. L'allonge se termine dans le bas par un tube plus étroit avec trois compartiments susceptibles d'être fermés et vidés séparément. Pour utiliser cet appareil on le remplit d'eau, on place l'échantillon de terre dans son récipient, on ouvre le robinet à un temps donné. On laisse écouler l'intervalle de temps T nécessaire pour que les plus grosses particules se

soient déposées dans le compartiment inférieur. On ferme celui-ci. On opère ainsi de suite pour les autres compartiments aux temps T_2 et T_3. On a ainsi séparé les fractions *d*, *c*, *b*, La fraction *a* est restée dans l'allonge.

Présentation des résultats.

On fait un premier pourcentage des particules de D supérieur à 5 millimètres, de diamètre compris entre 5 et 2 millimètres, avec la proportion de matière organique qui y est comprise, et le poids de terre inférieur à 2 millimètres.

On fait un second pourcentage représentant la composition de la terre de 2 millimètres.

D'après le tableau ci-dessous :

Diamètre :	2 — 1	(poids) p. 100.
—	1 — 0,5	*Idem.*
—	0,5 — 0,2	*Idem.*
—	0,2 — 0,05	*Idem.*
—	0,05 — 0,003	*Idem.*
—	inférieure à 0,003	*Idem.*
Humus		*Idem.*
Humidité (de la terre séchée à l'air)		*Idem.*
Matières perdues		*Idem.*
		100.0

L'auteur appelle matières perdues la différence entre la somme des poids des fractions *a*, *b*, *c*, *d*, et 25 grammes, différence ramenée à 100. Elles représentent les matières solubilisées au cours de la lévigation.

DISCUSSION.

a. DISPERSION, DISPERGIERUNG, DISPERSION.

NOVAK. Mit den Vorschlägen von Dr. Robinson kan man völlig einverstanden werden, was die Sache der A-Methode betrifft. Ich möchte nur besonderen Nachdruck darauf zu legen, dass bei den Vergleichsanalysen unbedingt notwendig ist den Vergleich der Pipettemethode mit der Dekantiermethode was die Übereinstimmung der Resultate betrifft, nachzuprüfen. Meine eigene Erfahrungen mit der Pipettemethode sind ziemlich schlecht, besonders bei dem gewöhnlichen Laboratoriumsbetrieb. In der sache der B-Methode könnte ich nicht der Ansicht des H. Kollege Robinson beistimmen, da die B-Methode hat mit der Struktur nichts gemeinsames. Die B-Methode kontroliert auch den mechanischen Zustand des Bodens, sie elementarisiert auch mechanisch den Boden, aber gegenüber der A-Methode berücksichtigt die Rolle des Humus und des CO^3Ca als gleichgültiger Elemente in der Textur des Bodens wie z. B. Sand und andere Bodenpartikel. Zu den Ausführungen von Dr. Coutts wird bemerkt, dass die Na-oxalatmethode wahrscheinlich nur in den stark eisenhaltigen Bodenarten schlechte Resultate liefert. Nach eigenen Erfahrungen muss ich die Na-oxalatmethode — wenigstens bei den Schwarzerde, Braunerde, und Podsoltypen — als gleichwertig mit der A-Methode und mit der NaOH-Methode anzusehen. Die Dispergierung mit Na-oxalat war so vollkommen, dass man bei der Dekantierung, nach der Benützung von Na-oxalat, im NaOH-medium keine Unterschiede gegenüber der Dekantierung im destilliertenWasser bekam. Ausserdem die Anzahl der Abheberung war die kleinste bei den Na-oxalatmethode.

SCHOFIELD. Are we always to regard as the best method for ultimate mechanical analysis the one which gives the highest figure for clay ($<$ 0.002 mm.)? Since the alkalis are known te disperse in the order $NH^4OH < KOH < NaOH < LiOH$, an answer in the affirmative would imply that we should use lithium hydroxide. If however we desire a *standard* method, sodium hydroxide is to be preferred, as several salts of sodium (chloride, sulphate, oxalate, and citrate) are in use and sodium hydroxide is obviously the best dispersing agent with which to make comparison as here there can be no disturbance due to anions.

ROBINSON. In considering the effect of associated cations on the results obtained by mechanical analysis, it is necessary te distinguish : *a*. The stability of the suspended particles which depends, *inter alia*, on their electrical potential being above a certain critical value; and *b*. The settling velocity of the particles. Both are affected by the degree of hydration of the associated cation. The more hihgly hydrated is the cation sheath the higher is the potential of the particle; and therefore the critical potential

necessary for stability is most readely attained with highly hydrated ions such as lithium or sodium. But the hydration of the cation sheath also affects the settling velocity of the particle. A particle when associated with a sheath of, say, lithium ions will, *ceteris paribus*, settle more slowly than a particle having a sheath of ammonium or calcium ions, because it has a larger aqueous envelope. This effect will become more marked, the smaller the particle size. Mechanical composition curves of dispersions prepared from the same soil with different cations diverge considerably at the lower end of their range. Even at the settling velocity represented by clay in the international scale, there is some divergence and the clay percentage is in the order Li clay < Na-clay < NH^4-clay < H-clay. These differences are not due to variations in the efficiency of dispersion; but they reflect the varying degrees of hydration of the settling particles. For international comparative purposes we should decide to use dispersions with the same cation and I agree with Dr. Schofield that sodium is the most convenient.

Demolon. Le but vers lequel il faut tendre est la fixation de conditions expérimentales suffisamment précises pour obtenir la concordance des résultats obtenus dans divers laboratoires. Mais il ne saurait y avoir de méthode universelle convenant toujours et partout. Par ailleurs nous manquons de criterium, en présence de résultats discordants pour juger celui qui est le plus proche de la réalité.

Prescott. Many Australian soils and the soils of the Nile alluvium present particular problems. The Nile alluvium, while not containing calcium carbonate, is calcium saturated and slightly alkaline, and may contain up to 10 p. 100 of silicate material very readily decomposed by hydrochloric acid treatment. In such a case, with decantation methods, a preliminary treatment with ammonium chloride to remove exchangeable calcium followed by sodium hydroxide dispersion was of considerable value.

With Australian mallee soils containing much calcium carbonate but with a natural degree of solonisation, dispersion with sodium hypobromite has proved of value and it has been found possible to disperse as clay even a portion of the calcium carbonate. The sodium citrate method of Demolon and Bastisse may be useful in such cases.

A decantation method as a fundamental standard is to be recommended, particularly as it can be employed by many laboratories with modest equipment.

In most special cases, methods involving both acid treatment and no acid treatment are usually required, the international method with acid pretreatment giving the fundamental elements from which the soil structure is built up.

Barbier. Entre divers procédés de dispersion fournissant des taux d'argile différents, on pourrait peut-être décider lequel permet la dispersion totale des colloïdes minéraux, en comparant la capacité d'échange de l'argile extraite avec la capacité d'échange de la fraction minérale de la terre entière.

Hissink. The methods of dispersion for mechanical analysis were settled in outline at the meeting of the First Commission, held in october 1926 at Rothamsted, under the presidentship of Prof. Novàk. Two methods were prescribed, known as the International Method A and International Method B, respectively, and published in the Proceedings of the International Society of Soil Science, 1929 (N° IV, pp. 215-218). So far, these regulations have given satisfaction, and I see no reason whatever to modify them *so far as the main points are concerned*. As a slight modification of a detail I may mention the substitution of sodium hydroxide or ammonia-sodium hydroxide for ammonia.

I can further imagine that modifications will be necessary for particular kinds of soils. Amongst these are, e. g., Demolon's proposals for the employment of sodium citrate with some French soils rich in calcium carbonate and the objections to the use of sodium hydroxide with laterite soils, which contain large amounts of Al^2O^3 soluble in NaOH. Before introducing modifications, however, it will be necessary for several Institutes to test these proposed modifications on a few soil samples.

DROUINEAU. On peut se demander si la présence de citrate de soude ne gêne pas quand on veut recueillir, par la méthode pipette, l'argile peptisée par la méthode Demolon et Bastisse.

Des essais comparatifs ont été effectués. La surcharge due au citrate de soude est déterminée par un essai à blanc avec pipetage et séchage dans les mêmes conditions que pour les argiles.

Le poids obtenu, très constant, est retranché du poids d'argile peptisée avec du citrate.

En donnant la valeur 100 au résultat obtenu par la méthode pipette classique, (à l'ammoniaque) nous avons trouvé, par exemple, avec la méthode au citrate la valeur 101,6 pour la terre à brique. L'absence des lavages à l'acide chlorhydrique et à l'eau rend le dosage de l'argile extrêmement rapide.

b. GROUPEMENT DES FRACTIONS.

GRUPPIERUNG DER BODENKÖRNES.

GROUPING OF FRACTIONS.

HISSINK. With regard to the question of the grouping of particles in mechanical analysis, I can refer you chiefly to my communication in Soil Research, volume III (1932), no. 2, entitled «Physical Soil Constants». At the Institute of Soil Science, Groningen, fractions I and II are poured away in an Atterberg cylinder (decantation method); for fraction I a column of 10 cm. after 8 hours, and for fraction II a column of 10 cm. after 7 1/2 minutes. With the aid of Stokes'formula $V = 34720\ r^2$, V being the settling velocity and r the radius of soil particles, it can be calculated that the particles of fraction I are smaller than 0.002 mm. diameter, whilst those of fraction II are between 0.002 and 0.016 mm. diameter.

The further grading of the particles larger than 0.016 mm. is attended with difficulties. I have carried this out with three methods, with the aid of :

a. The Atterberg cylinder (decantation method);

b. The Kopecky cylinder (elutriation method);

c. Sieving through various meshes.

After completion of the separation into different fractions the size of the particles of these different fractions was determined with the aid of microscopic measurements. On the strength of the results obtained I came to the conclusion that the results obtained with the methods under a and b are incorrect, and since that time the sand particles larger than 0.016 mm. diameter have been separated with the aid of sieves.

Finally, I would call attention to the necessity not only of laying down rules for the width of mesh of these sieves, but also of trying to have these sieves made for all Institutes by one and the same firm.

Burgevin. Dans nos laboratoires, nous avons depuis longtemps éprouvé des difficultés pour obtenir des tamis dont le diamètre des fils et l'intervalle entre fils soient parfaitement déterminés. D'un commun accord entre les différentes stations agronomiques, il a été arrêté une liste de tamis dont les caractéristiques sont définies en unités métriques et d'après les jauges d'un usage traditionnel dans la tréfilerie. L'uniformité de la fabrication a été assurée en choisissant une marque éprouvée.

Hooghoudt. Als Grenzen der Korngruppen bei der Bestimmung der mechanischen Zusammensetzung des Bodens sind 0.002-0.02-0.2-2.0 mm. angenommen worden. Nach meiner Meinung kann man aber innerhalb bestimmter Grenzen (z. B. 16-2000 μ) die mechanischen Zusammensetzung in einer einziger Zahl ausdrücken. Dafür kann man sehr gut die spezifische Oberfläche Zunker benutzen. Möglich ist das aber nur dann, wenn man die Korngruppen bei der Bestimmung der mechanischen Zusammensetzung klein genug wählt, denn nur dann gilt die Berechnungsweise Zunker für die spezifische Oberfläche.

Durch meine Untersuchungen habe ich bewiesen, dass die spezifische Oberfläche der Korngruppe 16-2000 μ die physikalischen Grössen der Sandböden mit wenig Ton (Fraktion kleiner als 16 μ), wenig CO^3Ca und wenig Humus sehr gut bestimmt, so dass man sogar einfach aus Ucm. dieser Korngruppe die Durchlässigkeit und die Kapillarität dieser Böden berechnen kann. Ich schlage daher vor, die Zusammensetzung der Sandfraktion (z. B. 16-2000 μ) einfach durch Ucm. anzugeben, so dass im allgemeinen die mechanische Zusammensetzung eines Bodens durch nur 4 Zahlen bestimmt wird, nämlich Tongehalt, Ucm. der Sandfraktion, Humus und $CoCa^3$-Gehalt. Grundsätzlich besteht aber noch die Möglichkeit, auch den Tongehalt in Ucm. auszudrücken. Dafür muss man aber die unterste Grenze der Korndurchmesser, die auch von Zunker für zu wenige Böden untersucht worden ist, bestimmen und die Tonfraktion weiter noch genügend unterteilen.

Novak. Nach der bodenkundlichen Literatur und nach den Anfragen bei der Enquête des Referenten ist zu beurteilen, dass am meisten für die Siebmethode die Grenze 0.2 mm. als annehmbare anerkannt wird. Die guten Erfahrungen des H. Dr. Hissink sind in Wirklichkeit ganz einzel. Die Ergebnisse der Dekantier — und Spülmethode bei gröberen Fraktionen (über 0.05 mm.) können nicht im Einklang mit der Siebmethode sein, da auf diese Partikeln die Stokes'sche Formel nicht genau angewandt werden kann. Zur Diskussion des H. Kollege Hooghoudt wird bemerkt, dass zwar die Tendenz einen einfachen Ausdruck für bestimmte bodenkundliche Grösse existieren, aber es können nicht immer benützt werden. Auch im Falle des sogenannten spezifischen Oberfläche ist es vor allem notwendig die mechanische Zusammensetzung vor Augen zu haben.

Wolf. I carried out a large number of determinations with sieves of 50 μ. By working with dry samples after long use the sieves become worm, but with wet sieving they are more resistant. Elutriation and sedimentation are, of course, carried out in the wet way. If the wet way is used sieves up to 50 μ may be used.

RÉSOLUTIONS I-II. (Voir pages 303-304).

SÉANCE DU 3 JUILLET

(SOIR : 14 H. 30)

Président : G. W. ROBINSON

Secrétaires : O. FAUSER, R. K. SCHOFIELD, S. HÉNIN

STRUCTURE DU SOL

ET

QUESTIONS DIVERSES

LE PROBLÈME DE LA STRUCTURE DU SOL,

PAR

N. A. SOKOLOVSKY.

(Texte original en langue russe.)

Les questions concernant la structure du sol ont pris une grande importance dans l'Union des Républiques Socialistes Soviétistes, étant donnés les problèmes posés par la rationalisation des techniques agronomiques; elles ont été traitées dans un certain nombre de rapports présentés à la Conférence de la première Commission soviétique. Au cours de ces travaux, les questions principales suivantes furent traitées : facteurs et processus de la formation de la structure du sol, ciments des agrégats terreux, mode d'expression de l'état de la structure, influence de la végétation sur la formation de la structure.

Les conditions naturelles dans lesquelles la structure du sol se forme sont liées à la partie colloïdale du sol, au changement de sa qualité sous l'influence des facteurs physiques, chimiques et biologiques. C'est pourquoi l'enrichissement du sol, en colloïdes notamment, par l'apport de matière organique et l'action de l'homme sur ces facteurs représente un problème agronomique.

Un certain nombre de questions, des plus importantes, concernant la structure du sol, ses modalités, sa formation, sa régénération et sa stabilité demeurent obscures. De même, nous ne sommes pas encore définitivement fixés sur la différence entre la structure vraie et la structure fausse, ainsi que sur les transitions de la coagulation à la floculation (Keen) du stade «Krümmel», qui se forme par suite des processus physiques et chimiques, au «Garekomplexe» (Lang) qui prend naissance sous l'action des facteurs biologiques, de la microstructure à la macrostructure.

A ces questions s'en ajoute un certain nombre d'autres, liées à la détermination du degré de la structure, à sa stabilité, à l'influence qu'ont sur la structure telles ou telles plantes et les procédés du travail du sol.

A côté des agronomes et des pédologues, les physiciens de l'Institut physique et agronomique ont eu pour mission d'étudier, au point de vue théorique, les facteurs de la formation de structure et de rechercher les procédés permettant de créer la structure artificielle, au moyen de matières appropriées.

On a cherché ces moyens dans deux directions (rapport de I. I. Verchinine) :

1° On a reconnu la possibilité de créer une structure artificielle, en comblant

les espaces lacunaires et en cimentant les particules du sol par des systèmes liquides (colloïdes lyophiles) qui donnent, en se solidifiant, des incrustations possédant une faible stabilité mécanique, mais une stabilité normale en milieu aqueux; 2° On a reconnu également possible de la créer en augmentant l'adhésion de la surface des incrustations formées à la surface des particules du sol.

Un grand rôle revient dans ce cas à la théorie de la soudure moléculaire (Talmud), c'est-à-dire de la matière active superficielle de la couche monomoléculaire d'adsorption qui change l'énergie superficielle à la limite de deux phases.

Comme exemple de l'action de soudure moléculaire, on peut prendre le cas d'une mince couche de paraffine entre deux lamelles de quartz. Pour séparer les lamelles de quartz soudées par cette couche, il faut un effort de 3 kilogr. 400 par centimètre carré pour une épaisseur de la couche de paraffine de 0,1 millimètre et 14 kilogr. 800 par centimètre carré, avec une épaisseur de 0,005 millimètre.

Le degré de stabilité dépend des propriétés des matières et de leur action réciproque. C'est l'orientation des molécules de soudure à la surface de séparation qui joue ici le rôle principal; il faut dépenser un certain travail pour rompre cette orientation. La «force» de soudure croît avec le poids moléculaire suivant la règle de Traub. Ainsi, pour les lamelles de quartz l'introduction d'alcool méthylique dans la soudure augmente la stabilité, de 14 kilogr. 800 par centimètre carré, à 15 kilogr. 400 par centimètre carré; le mélange à la soudure d'alcool butylique l'augmente jusqu'à 17 kilogr. 300 par centimètre carré, et d'alcool acétylique, jusqu'à 24 kilogr. 500 par centimètre carré; pour les lamelles de calcite, le mélange à la soudure de ces alcools augmente la stabilité : le mélange du premier, à 13 kilogrammes par centimètre carré, du deuxième, à 19 kilogrammes par centimètre carré et du troisième, à 36 kilogrammes par centimètre carré.

On a essayé les dérivés de la cellulose, notamment la viscose, pour constituer une couche de soudure. Introduite à l'état liquide et devenant ensuite gélatineuse, la viscose augmente la stabilité du sol et du sable et cette augmentation se manifeste aussi bien pour la stabilité éprouvée par écrasement que par l'action de l'eau. L'augmentation de la stabilité dépend de la concentration de la viscose et de la composition mécanique du sol mis à l'épreuve.

D'autre part, on a expérimenté divers produits tels que sulfites alcalins plus gluten.

On continue à rechercher les matières contribuant activement à la formation de la structure; elles pourraient conduire à l'utilisation d'engrais structuraux, c'est-à-dire favorisant la formation de la structure; on étudie également la

nature des agrégats qui se forment et l'influence qu'elle peut exercer sur le régime physique et chimique à l'intérieur de ceux-ci.

En connexion avec le rôle joué par les matières organiques dans la formation de la structure la question suivante s'est posée : Aux dépens de quels composants du fumier et de la fumure verte se produit la solide cimentation résistant à l'action de l'eau?

Les travaux de F. J. Gueltzer (Station d'expérimentation de Ac-Kavaksk) et de J. J. Kanivtza (Kiev) ont montré que c'est la cellulose qui est la source de la formation de la structure.

M. Kanivtza a constaté que la cellulose (+ NO^3K agissant comme source d'azote nécessaire aux bactéries) augmente, d'une façon très appréciable, la quantité des agrégats à macrostructure. L'addition de cellulose au fumier augmente, d'une façon notable, l'influence de celui-ci sur la formation de la structure.

Du rapport de Gueltzer, il résulte que, dans les terres grises de l'Asie centrale, soumises à l'irrigation, on observe une dépendance intime entre les variations de la teneur en carbone organique du sol et la constitution des agrégats : toute diminution du carbone dans le sol diminue le coefficient de stabilité aqueuse des agrégats; au contraire, l'augmentation du carbone provoquée par la culture de luzerne élève rapidement cette stabilité. Certains engrais minéraux abaissent la qualité structurale du sol; d'où un certain nombre de difficultés observées dans la culture du coton : abaissement de la faculté de nitrification, formation de croûtes, diminution de la pénétration de l'eau dans le sol, etc.

La culture de luzerne (pendant 3-5 années), surtout en mélange avec les graminées fourragères, améliore très nettement la situation.

On a reconnu que la cellulose et les hemicelluloses prédominant dans la masse verte herbacée minéralisent plus facilement que le fumier qui contient une proportion plus grande de lignine.

C'est pourquoi la fumure verte augmente la quantité de gros agrégats jusqu'à une proportion de 97 p. 100, tandis que le fumier n'a donné qu'une augmentation de 26 p. 100. La dynamique des agrégats est aussi plus stable dans le sol ayant reçu une fumure verte que dans celui fumé avec le fumier de ferme. L'expérience faite avec la cellulose pure et avec la lignine, compte tenu de l'intensité de leur décomposition (d'après CO^2) a confirmé pleinement cette conclusion.

En ce qui concerne la qualité de la partie colloïdale du sol, envisagée comme un facteur de la structure, A. F. Tiulin a attiré l'attention sur les conditions dans lesquelles se forment les agrégats dans le sol. Il admet que leur formation est conditionnée par la composition et la forme des éléments mécaniques, la quantité et la qualité des colloïdes et le type prédominant de la coagulation

(électrolytes, précipitation réciproque, dégradation et faculté de se gélatiniser).

Pour analyser la partie colloïdale, l'auteur propose la peptisation fractionnée effectuée :

1° Au moyen de la saturation du sol par les ions Na;

2° Par le traitement du reste avec NaOH, N/0,004;

3° Par un nouveau traitement du résidu avec HCl faible ou avec une solution de pyrophosphate de Na. Quand c'est nécessaire (richesse en R^2O^3), on se sert du réactif de Tamm.

La peptisation fractionnée fournit la possibilité de préciser les facteurs de coagulation, de formation de la structure et les causes déterminant la différence dans la stabilité pour chaque cas particulier. D'après les expériences de l'auteur, la première fraction obtenue par peptisation possède une capacité d'absorption plus grande que la seconde (bien qu'il faille tenir compte de la possibilité d'altération des propriétés de fractions pendant le processus de peptisation). Cela plaide en faveur de la différence qualitative des colloïdes qui se distinguent aussi d'après la teneur en P^2O^5 qui se trouve en totalité dans la première fraction et qu'on ne trouve presque pas dans la seconde (tchernozem) ni dans la troisième fractions. Il est possible que la différence des capacités d'absorption de différentes fractions soit liée à la différence de rapports des acidoïdes et des basoïdes contenus dans les fractions. A. J. Achromeiko a consacré son rapport à la stabilité de la structure; en conclusion, il montre la limite très nette qui existe entre les agrégats à macrostructure et les agrégats à microstructure. Les premiers ont une stabilité faible quel que soit le type de sol considéré. Font exception le sol rouge et l'horizon illuvial du tchernozem dégradé (dans le dernier cas se manifeste l'influence des sesquioxydes). L'humidification et la dessiccation répétées du sol déterminent sa désagrégation en fractions structurales comportant d'autres rapports de leurs éléments.

Une structure peu stable se désagrège sous l'action de l'eau en agrégats à microstructure très stable.

De telle sorte que, suivant l'auteur, la différence dans la stabilité des agrégats se trouve déterminée par une seule condition qualitative. Quant aux facteurs physiques et chimiques intrinsèques, ils seraient sans influence (sauf les cas mentionnés ci-dessus).

Toute autre est l'opinion de N. N. Savvinoff; d'après lui, les agrégats du sol peuvent être de grandeurs différentes et avoir, en même temps, la même composition mécanique et les mêmes cations absorbés.

Les sols diffèrent les uns des autres très nettement d'après la proportion de leurs agrégats stables ($>$ 0,25 millim.). Un sol podzolique, selon les horizons, en contient : 12,8, 3,4, 19,1, 14,3, 19,8 p. 100; le sol d'une prairie inondable de la province de Moscou : 85, 87, 65, 70 p. 100; le sol

podzolique de l'Institut agronomique Timiriazeff donne les chiffres suivants :

	POURCENTAGE DES AGRÉGATS À STRUCTURE STABLE.			
	Témoin.	Fumé avec 40 t. fumier de ferme.	Chaux + N. P. K.	N. P. K.
	%	%	%	%
Jachère continue (âgée de 20 ans)........	2.4	15.0	4.1	1
Culture continue du seigle............	40.0	41.4	41,8	36,5
Culture continue du trèfle avec fléole....	63.0	53,0	70.0	74,0

SOLS DE ROTHAMSTED (BROADBALK) APRÈS UN FORT CHAULAGE.

	POURCENTAGE DES AGRÉGATS.	
	de > 0.25 mm.	de > 1 mm.
	%	%
Jachère continue	21	1
Culture continue de froment	30	6
Culture continue de froment sur N. P. K.............	37	5,4
Culture continue de froment sur fumure de fumier de ferme	52	23
Prairies depuis 1856..........................	83-95	83

L'influence du fumier de ferme et des herbes sur la stabilité de la structure varie suivant les sols comme le montre le tableau suivant :

SOL PODZOLIQUE DU SOVKHOZ BIELKSY.

	POURCENTAGE DES AGRÉGATS.	
Culture du lin sur sol meuble	37,3 p. 100	21,3 p. 100
— après trèfle	55,9 —	40,3 —

TCHERNOZEM DE PIATIKHATIK.

	AGRÉGATS de 0,25 mm.
Ancien labour	48,2 p. 100
Friche (terre vierge)	66,9 —
Horizon au-dessous de la couche arable.............	74,1 —
Loess	2,1 —
Premier sol enterré................................	13,8 —
Loess à 5 mètres de profondeur	2,8 —
Deuxième sol enterré............................	21,8 —

SOL CHATAIN DE LA STATION D'EXPÉRIENCES KRASNOKOUTSK.

	AGRÉGATS > 0.25 mm.
Friche	29,3 p. 100
Luzerne jaune avec *Triticum cristatum* de 4 ans	28,1 —
Triticum cristatum de 4 ans seul	20,0 —
Jachère nue de 4 ans	19,7 —

La pénurie d'humus s'oppose à la formation d'une structure stable.

Même dans les dépressions où existe le tchernozem et où les conditions sont meilleures pour le développement des plantes, l'influence des herbes sur la structure se montre positive.

Un apport d'humate d'ammonium dans le sol châtain a augmenté la stabilité de la structure de 22 p. 100 à 29 p. 100. Pour le sol podzolique, il est nécessaire aussi d'ajouter le calcium.

La stabilité insuffisante de la structure de la majorité des sols (sauf tchernozem, sol des prairies et quelques autres sols), la faible résistance de l'action de l'eau mettent au premier plan le problème concernant la structure. Les procédés «biologiques» de régénération de la structure par l'intervention des herbes et du fumier ne résolvent pas entièrement ce problème. D'où la nécessité d'utiliser les engrais minéraux et structuraux.

Dans le cas de la culture irriguée, on peut se servir des colloïdes lyophiles qui, après coagulation ou gélatinisation, rendent la structure des agrégats plus stable. Dans le cas de la culture non irriguée, on peut employer les matières qui sont capables, en donnant naissance avec les eaux de pluie, à des hydrosols, de se répartir régulièrement dans le sol et de passer ensuite à l'état de gels irréversibles. Un engrais de ce genre pourrait être l'humate d'ammonium ou l'humate de potassium qu'on obtient avec la tourbe.

La relation bien connue, entre la qualité du travail du sol et le degré de son humidité a incité D. G. VILENSKY à entreprendre les expériences ayant pour but l'explication de l'influence que l'humidité a sur la formation des agrégats.

Il a été reconnu que non seulement les sols de composition différente, mais aussi la poussière de quartz donnent, si on les mélange à l'état de l'humidité variable, après leur dessiccation, une stabilité dans l'eau variable. Prenant pour base les phénomènes connus dans la pratique, ces expériences indiquent la possibilité de trouver un moyen de régler le degré de la structure du sol et le qualité de son travail; elles confirment en même temps le rôle que joue l'eau dans la formation de la structure.

Enfin, A. N. SOKOLOVSKY a envisagé dans son rapport la formule sous laquelle on pourrait exprimer le degré de la structure du sol; il a tâché de déterminer le coefficient structural des sols, exprimant le rapport qui existe entre la dis-

persion complète du sol (avec et sans oxydation de l'humus) et la dispersion après agitation du sol dans l'eau en présence d'ammoniaque. On a obtenu après cette opération les chiffres suivants qui caractérisent la structure : tchernozem (0 m. 10), 11,7 p. 100; sol argileux gris foncé de forêt (0 m. 08), 7,7 p. 100; sol podzolique (0 m. 15), 3,7 p. 100; solonetz, 1,8 p. 100.

D. J. Sideri a utilisé ses observations sur le gonflement du sol pour étudier les modes de mensuration de la structure. Il est arrivé à la conclusion qu'on peut remplacer les méthodes habituelles — analyse des agrégats et détermination de la dispersion du sol — par la détermination du coefficient de stabilité de structure faite à la saturation capillaire du sol pour l'eau et en se basant sur la différence qui existe entre l'imbibition capillaire et le gonflement.

Pour le travail collectif, la Conférence a posé les questions suivantes :

1° Types de structure du sol et facteurs de leur formation;

2° Relation entre les facteurs structuraux, la formation des agrégats et leur stabilité;

3° Caractère des ciments dans les différents sols et leurs horizons;

4° Différentes méthodes d'appréciation qualitative et quantitative du degré structural du sol; méthodes d'analyse des agrégats (Savvinoff, Pavloff, Tiulin), degrés structuraux (Vageler, Ehrenberg, Sokolovsky), méthode par filtration.

5° Relations entre la structure et les propriétés physiques et chimiques du sol;

6° Dynamique structurale; transition de la microstructure à la macrostructure;

7° Influence de la structure sur les propriétés agronomiques du sol et sur sa fertilité.

INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ DU SOL SUR SA STRUCTURE,

PAR

D. VILENSKY
(MOSCOU).

(Texte original en langue russe.)

Le rôle joué par l'humidité du sol dans les processus de formation de la structure du sol est connu depuis longtemps. On trouve, à cet égard, des indications dans les travaux de Puchner (1), Fippin (2), Cameron (3) Searle (4), Bouyoucos (5), Mitscherlich (6), Slipher (7), etc.

Suivant Slipher, «l'humidité est la clef de la formation de la structure du sol. L'effet qu'on obtient du travail du sol, en vue de la formation de la structure, dépend de la proportion d'humidité que contient le sol au moment où on le travaille. Il existe une humidité optimum pour le travail de chaque sol».

Au cours de mes études à l'Institut pédologique d'Ukraine, dans lesquelles j'ai déterminé la résistance opposé par un sol aux principaux efforts mécaniques (compression, extension, déplacement), il a été établi que cette résistance, pour un sol donné, desséché à l'air, dépend de sa teneur en humidité au moment de la préparation des échantillons.

Sans insister sur la méthode de travail exposée ailleurs [Potchvovédénié (8)], je me bornerai à présenter un tableau qui met cette relation en évidence (tableau I, *voir page suivante*).

Ce tableau montre, d'une façon très nette, que la résistance temporaire à la compression, à l'extension, au déplacement, varie suivant le degré d'humidité du sol au moment de la préparation des échantillons; elle atteint son maximum pour un taux déterminé qui correspond à 20 p. °/₀ pour le loess, 40 p. °/₀ pour le tchernozem et 50 p. °/₀ pour l'argile.

En même temps, on a constaté un autre phénomène intéressant : un sol, auquel on incorpore de l'eau, donne naissance, à partir d'un certain degré d'humidité, à des agrégats qui disparaissent de nouveau au delà d'une certaine limite d'humidité. C'est là un phénomène bien connu en pratique. C'est pourquoi la dépendance de la *stabilité mécanique** du sol, de l'humidité

* L'auteur désigne sous le nom de «stabilité mécanique», la stabilité structurale du sol exprimée par la résistance que les agrégats opposent à une force de compression, d'extension ou de déplacement.

TABLEAU I.

Résistance moyenne à la compression, à l'extension et au déplacement, exprimée en kg/cm² des échantillons préparés à différents degrés d'humidité.

NATURE DES SOLS ET DES HORIZONS.	POURCENTAGE de L'HUMIDITÉ DES SOLS au moment de la préparation des échantillons.	MODES DE DÉFORMATION.		
		COMPRESSION.	EXTENSION.	DÉPLACEMENT.
1. Loess	10	1,8	–	1,11
2. *Idem.*	15	15,6	–	1,37
3. *Idem.*	20	29,6	6,25	2,37
4. *Idem.*	25	21,6	5,12	1,78
5. *Idem.*	30	–	4,00	–
6. *Idem.*	35	–	3,25	–
7. *Idem.*	40	–	2,25	–
8. *Idem.*	45	–	1,45	–
9. *Idem.*	50	–	1,15	–
10. Tchernozem	10	4,66	–	0,02
11. *Idem.*	15	2,37	–	0,24
12. *Idem.*	20	4,56	0,50	0,46
13. *Idem.*	25	3,37	0,62	0,64
14. *Idem.*	30	5,25	1,10	1,16
15. *Idem.*	35	7,25	4,12	1,17
16. *Idem.*	40	27,75	6,37	2,00
17. *Idem.*	45	25,10	5,25	2,41
18. *Idem.*	50	21,70	4,62	1,78
19. *Idem.*	55	–	2,75	–
20. *Idem.*	60	–	1,62	–
21. Argile	10	1,87	–	0,06
22. *Idem.*	15	5,06	–	0,07
23. *Idem.*	20	8,12	0,57	0,09
24. *Idem.*	25	8,62	0,75	0,24
25. *Idem.*	30	6,62	1,70	0,58
26. *Idem.*	35	5,12	6,37	0,83
27. *Idem.*	40	6,12	9,62	1,44
28. *Idem.*	45	28,25	10,25	2,55
29. *Idem.*	50	30,25	8,25	2,39
30. *Idem.*	55	28,25	4,62	2,56
31. *Idem.*	60	27,75	3,87	2,62

antérieure, a incité l'auteur à étudier spécialement la nature des agrégats qui se forment au moment de la préparation, pour des sols ayant différents degrés d'humidité, et la stabilité des structures réalisées dans ces différentes conditions.

Sans nous arrêter sur les résultats concernant la première partie du travail (9), examinons les résultats obtenus concernant la stabilité des structures obtenues artificiellement, aussi bien la stabilité mécanique que la *stabilité aqueuse**.

* L'auteur désigne sous le nom de «stabilité aqueuse» une force de liaison des particules d'un agrégat avec l'eau, exprimée par la résistance qu'oppose l'agrégat à la destruction sous l'action de l'eau.

On déterminait la stabilité mécanique des agrégats par l'effort nécessaire pour écraser chaque agrégat isolé. Pour cela, on prélevait sur chaque échantillon 50 agrégats et on les écrasait un à un à l'aide du dispositif représenté sur la figure 1.

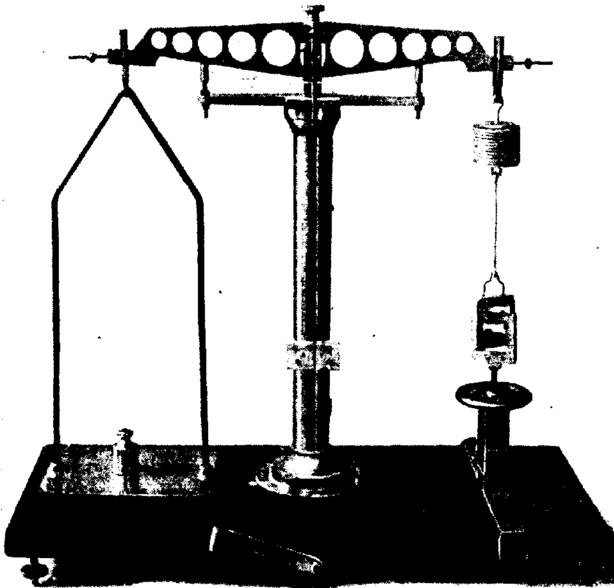


Fig. 1.
Dispositif servant à déterminer la stabilité mécanique de la structure.

Pour déterminer la stabilité aqueuse, c'est-à-dire la résistance des agrégats à l'action de l'eau, on prélevait, comme dans le premier cas, sur chaque échantillon, 50 agrégats et on soumettait chacun d'eux à l'action de l'eau en la laissant tomber goutte à goutte d'une burette de Moor, d'une hauteur de 5 centimètres, jusqu'à destruction de l'agrégat.

Les courbes représentées sur les figures 2-8 montrent les résultats concernant l'influence de l'humidité contenue dans le sol au moment de la

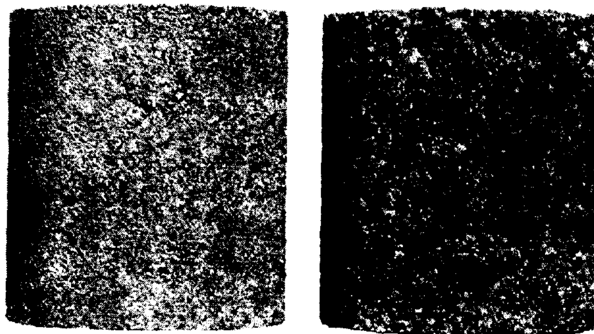


Fig. 2.
Échantillons du sol argileux de moraine préparés à différents degrés d'humidité.
A gauche, sol préparé à 10 p. 100 d'humidité (qui ne montre aucune structure).
A droite, sol préparé à 15 p. 100 d'humidité (traces de structure).

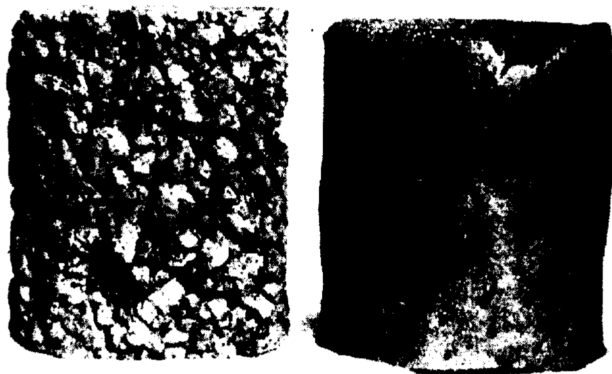


Fig. 3.
Échantillons du sol de moraine préparés.
A gauche, à 19 p. 100 d'humidité, A droite, à 23 p. 100 d'humidité (sans structure).

préparation des échantillons, sur la stabilité mécanique et sur la stabilité aqueuse ultérieures déterminées sur les agrégats formés après dessication à l'air.

En abscisses, nous avons porté l'humidité contenue dans les sols au moment de la préparation des échantillons et en ordonnées, soit les quantités moyennes d'eau distillée en centimètres cubes nécessaires pour détruire les agrégats (stabilité aqueuse), soit les charges moyennes en grammes nécessaires pour

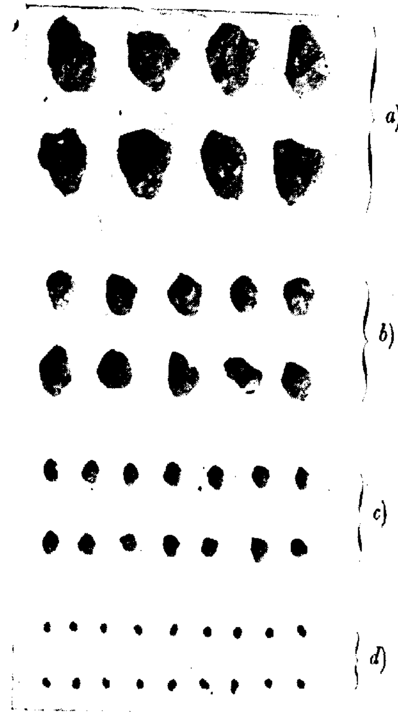


Fig. 4.
Échantillons des agrégats provenant du sol argileux de moraine obtenus à 19 p. 100.
(a) Agrégats de 7 mm; (b) de 4 mm; (c) de 2 mm; (d) de 1 mm.

détruire les agrégats (stabilité mécanique). L'analyse de ces courbes (p. 7, 8 et 9) conduit à un certain nombre de conclusions importantes. Le premier fait qui attire l'attention c'est que, d'après les courbes de stabilité aqueuse et de stabilité mécanique, les sols étudiés se divisent en quatre groupes : 1° tchernozem, solonetz, argiles; 2° moraine, horizon podzolique illuvial, loess; 3° horizon podzolique éluvial; 4° horizon podzolique labourable et sables.

Les courbes des sols du premier groupe ont à peu près les mêmes caractères : elles présentent un maximum et un abaissement graduel de part et

d'autre. Pour la courbe qui caractérise la stabilité mécanique et la stabilité aqueuse du tchernozem, le maximum, au moment où on travaille le sol, correspond à une humidité de 37 p. 100; pour le solonetz, à une humidité de 30 p. 100; et pour l'argile spondyle, à une humidité de 35 p. 100.

Les courbes des sols et des horizons du deuxième groupe ont leur maximum déplacé vers la droite. Pour le sol argileux de moraine, on obtient le maximum à une humidité de 19 p. 100; pour l'horizon illuvial et le loess, à une humidité de 21 p. 100.

Pour les échantillons du troisième groupe, le maximum de la stabilité aqueuse se trouve déplacé à gauche; on l'obtient en préparant les échantillons à l'humidité de 10 p. 100. Quant à la stabilité mécanique de ces sols, elle est représentée par une ligne horizontale.

Les sols du quatrième groupe, auquel appartiennent l'horizon podzolique labourable et le sable, présentent des caractères moins nets que les sols des groupes précédents, néanmoins ces courbes se rapprochent de celles qui caractérisent le troisième groupe; leur stabilité aqueuse maximum se trouve déplacée du côté gauche et s'abaisse graduellement. La courbe de la stabilité mécanique est représentée, dans le cas de l'horizon podzolique labourable, par une ligne presque horizontale. Quant à la stabilité mécanique, on ne l'a pas déterminée, étant donné la charge insignifiante sous laquelle s'écrasaient les agrégats isolés. On obtient le maximum de stabilité aqueuse, pour l'horizon podzolique labourable, en préparant les échantillons à l'humidité de 15 p. 100 et, pour le sable, à l'humidité de 8 p. 100.

On a pu aussi établir le fait très important suivant : la stabilité aqueuse et la stabilité mécanique de la structure d'un sol desséché à l'air, dépendent du degré d'humidité de ce sol au moment où on le travaille et, de plus, il existe, pour chaque sol et pour chaque horizon, certaines limites d'humidité entre lesquelles le sol, travaillé, donne la structure la plus stable.

On peut considérer cette eau présente dans les proportions indiquées, comme l'*eau structurale*, c'est-à-dire comme la quantité nécessaire à la formation de la structure la plus stable. La quantité de cette eau, pour les échantillons étudiés, est la suivante : pour le tchernozem 37 p. 100, pour l'argile 35 p. 100, pour le solonetz 30 p. 100, pour le loess et pour l'horizon illuvial 21 p. 100, pour la moraine 20 p. 100, pour l'horizon podzolique labourable 15 p. 100, pour l'horizon éluvial labourable 10 p. 100, et pour le sable 8 p. 100.

En comparant l'humidité structurale de différents sols avec leur composition mécanique et leur composition chimique, on arrive à la conclusion que, plus le sol est riche en argile, plus est élevée sa capacité de rétention pour l'eau, plus est élevée son humidité structurale.

En comparant l'humidité structurale du sol avec sa capacité de rétention,

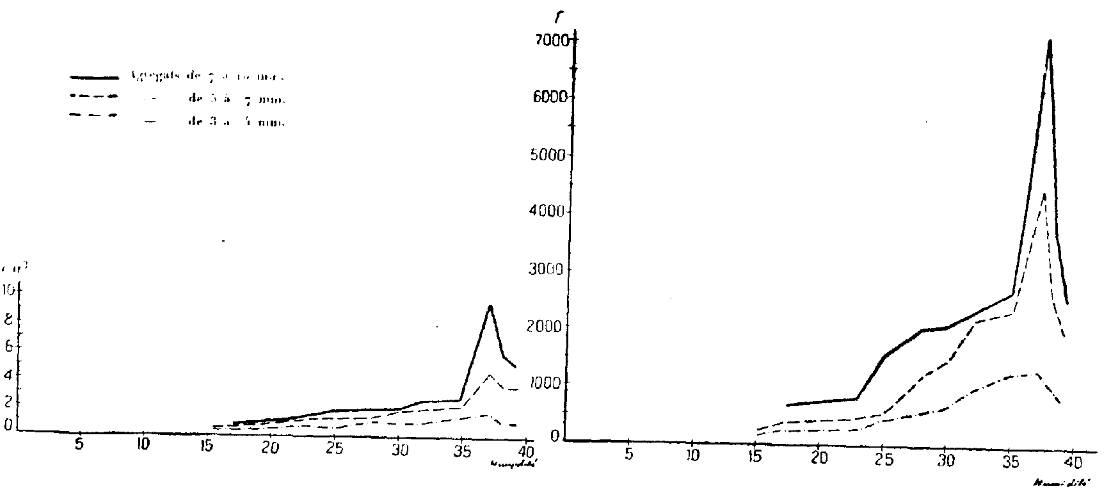


Fig. 5.

A gauche, courbe de la stabilité aqueuse.
A droite, courbe de la stabilité mécanique des agrégats provenant du tchernozem, obtenus pour différentes humidités dans le sol au moment de sa préparation.

on voit que l'humidité structurale n'est pas la même pour tous les sols, qu'elle ne représente pas le même pourcentage que sa capacité de rétention,

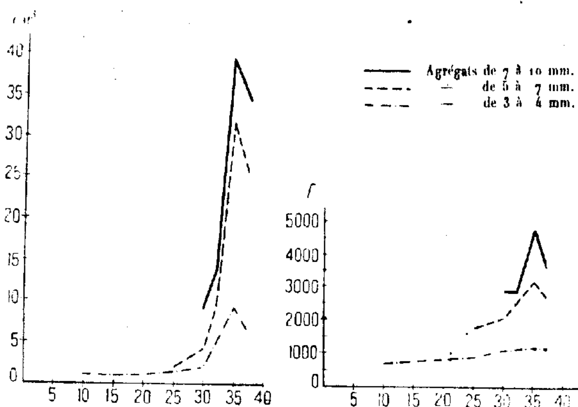


Fig. 6.
A gauche, courbe de la stabilité aqueuse. A droite, courbe de la stabilité mécanique de la structure des agrégats provenant de l'argile obtenus à différents degrés d'humidité contenue dans le sol au moment de leur préparation.

que ce pourcentage varie, suivant la nature du sol, de 41 p. 100 (pour le sable), à 73 p. 100 (pour le tchernozem).

D'après la stabilité structurale aqueuse et la stabilité structurale mécanique, les agrégats préparés à l'humidité structurale et desséchés à l'air, dont la grandeur varie de 3 à 5 millimètres, se classent dans l'ordre suivant (tableau 2).

Résistance à l'action de l'eau et à l'action mécanique de différentes structures des agrégats séparés désséchés à l'air, obtenus des échantillons préparés à l'humidité structurale (à l'humidité la plus favorable à la formation de la bonne structure).

NATURE DES ÉCHANTILLONS.	POURCENTAGE de L'HUMIDITÉ STRUCTURALE.	RÉSISTANCE À L'ACTION DE L'EAU EN CM³. Grandeur des agrégats en mm.		NATURE DES ÉCHANTILLONS.	POURCENTAGE de L'HUMIDITÉ STRUCTURALE.	RÉSISTANCE À L'ACTION MÉCANIQUE en gr. Dimension des agrégats en mm.	
		de 3 à 4.	de 5 à 7.			de 3 à 4.	de 5 à [illegible]
Argile	35	9,32	31,5	Tchernozem	37	1316	4533
Solonetz	30	5,58	11,3	Solonetz	30	2350	3314
Tchernozem	37	1,62	4,38	Argile	35	1475	3150
Horizon éluvial	10	2,80	4,30	Moraine	19	1150	2550
Moraine	29	1,92	2,83	Loess	21	1025	[illegible]
Salble	8	0,50	1,30	Horizon illuvial	21	766	2028
Loess				Horizon labourable podzolique	15	200	[illegible]
Horizon labourable	21	0,45	1,20				
podzolique	15	0,78	0,98	Horizon éluvial	10	50	[illegible]
Horizon illuvial	21	0,45	0,80	Sable	8	..	

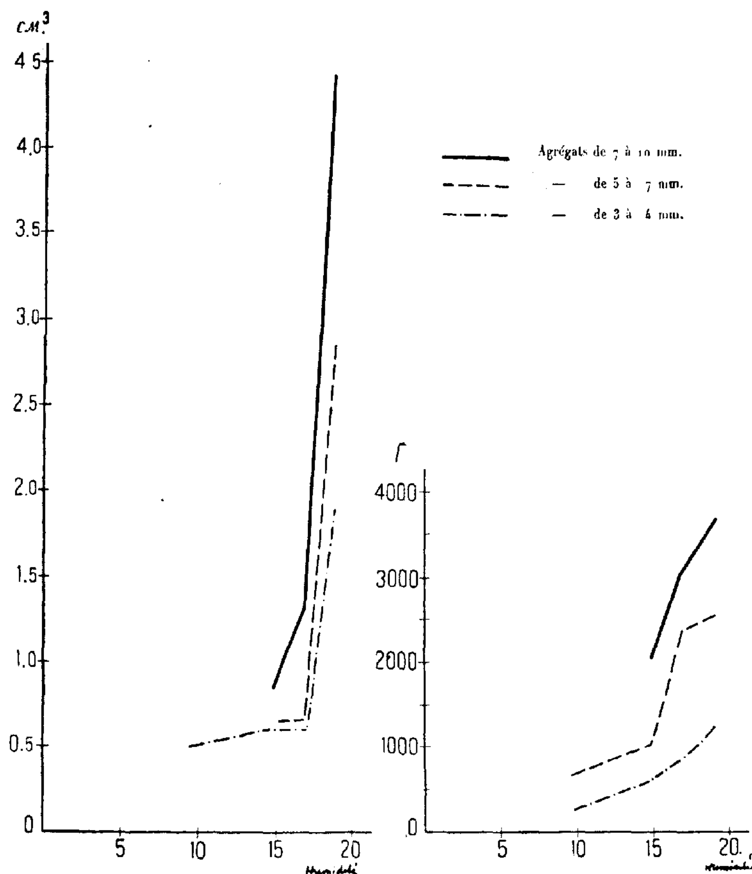


Fig. 7
A gauche, courbe de la stabilité aqueuse. A droite, courbe de la stabilité mécanique des agrégats provenant de loess, pour différents degrés d'humidité dans le sol au moment de sa préparation.

L'analyse de ce tableau conduit aux conclusions suivantes :

a. Au point de vue de la stabilité mécanique, les sols se rangent dans le même ordre qu'au point de vue de leur capacité d'absorption, de leur teneur en calcium absorbé et de leur composition mécanique, sauf l'argile qui a montré une stabilité plus faible que celle du tchernozem. Cela montre que la stabilité structurale mécanique est liée, en premier lieu, à la proportion de la fraction colloïdale du sol, ainsi qu'au degré de saturation du complexe

absorbant en calcium. Moins visible est la liaison de la stabilité avec la composition mécanique du sol, notamment avec la proportion de sa partie argileuse. C'est le tchernozem qui a montré la plus grande stabilité structurale; celle-ci s'est manifestée surtout pour les agrégats de 5 millimètres et au-dessus. Pour les autres sols, sauf le sable, la plus faible stabilité a été constatée pour l'horizon éluvial. Quant à la stabilité structurale des agrégats du sable, elle a été si insignifiante qu'elle n'a pu être déterminée par la méthode employée;

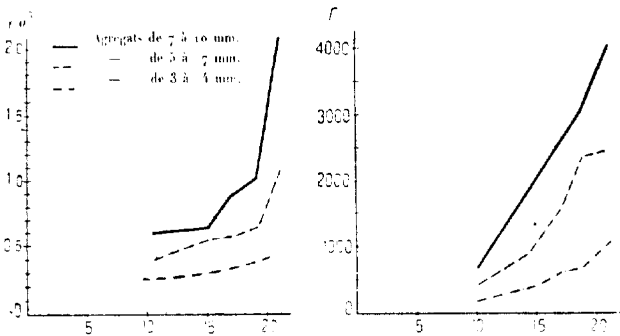


Fig. 7.
A gauche, courbe de la stabilité aqueuse. A droite, courbe de la stabilité mécanique de la structure des agrégats provenant du sol argileux de moraine, obtenus à différents degrés d'humidité dans le sol au moment de sa préparation.

b. En comparant les résultats caractérisant la stabilité structurale aqueuse avec ceux relatifs à la capacité d'absorption et à la composition mécanique du sol étudié, on voit que la relation entre la stabilité aqueuse et ces deux propriétés du sol n'est pas aussi simple que dans le cas de la stabilité structurale mécanique. Il est probable que la stabilité structurale aqueuse représente un phénomène plus complexe. L'analyse qualitative a montré que la composition des bases absorbées a une influence très marquée sur la stabilité structurale aqueuse. C'est ainsi que la stabilité structurale aqueuse des agrégats du solonetz, obtenu à partir du tchernozem, en remplaçant dans celui-ci le calcium absorbé par le sodium, est trois fois plus grande que celle des agrégats du tchernozem;

c. La comparaison de la stabilité structurale aqueuse et de la stabilité structurale mécanique montre qu'il n'y a pas parallélisme entre ces deux propriétés. Le tchernozem, par exemple, a montré une grande stabilité structurale mécanique et une stabilité structurale aqueuse insignifiante.

L'argile, dont la stabilité structurale mécanique est moindre que celle du tchernozem, a montré une stabilité structurale aqueuse six ou sept fois plus grande que celle du tchernozem. Donc, on ne peut pas avoir une idée, par exemple, de la stabilité structurale aqueuse, en se basant sur les caractéristiques de la stabilité structurale mécanique et inversement;

d. La comparaison de la stabilité structurale aqueuse et de la stabilité structurale mécanique, aussi bien dans le cas de la structure obtenue artificiellement que dans celui de la structure naturelle, montre que la stabilité aqueuse de ces deux structures est à peu près la même. Quant à la stabilité mécanique, elle est de beaucoup plus grande pour la structure obtenue artificiellement, surtout quand les agrégats ont une dimension supérieure à 5 millimètres, que pour la structure naturelle.

La comparaison de ces résultats et de ceux cités plus haut suggère l'idée d'une loi générale, selon laquelle *la stabilité structurale mécanique et la stabilité structurale aqueuse des agrégats des sols dépendent essentiellement de l'humidité que les sols contiennent au moment de la formation de ces agrégats.* Une telle étude pourrait éclairer le processus de formation de la structure du sol.

Au point de vue pratique, l'importance de cette étude est très grande. L'établissement d'une théorie exacte des phénomènes décrits permettrait de diriger les processus ayant lieu dans le sol au moment où on le travaille, en vue des buts que l'on se propose d'atteindre par le travail du sol. Les résultats cités permettent d'établir que chaque sol devrait avoir une humidité comprise entre certaines limites, pour permettre la formation de la structure au moment de son travail. Il est possible que ces limites, par lesquelles passe chaque sol à un moment déterminé, soient liées à ce qu'on appelle la «préparation» du sol, la «maturité» (Akergare).

Il est possible qu'une étude plus détaillée des phénomènes décrits plus haut donne la clef permettant d'expliquer scientifiquement cet état du sol qui a une importance si grande.

Enfin, l'étude de ce chapitre de la physique du sol apportera sûrement aux constructeurs des instruments destinés au travail du sol, un certain nombre d'indications qui leur permettront d'orienter les recherches concernant la construction de ces machines dans une direction qui rendra possible de travailler le sol, non seulement en vue de l'émietter, mais aussi de créer une structure favorable.

Il est bien entendu que la possibilité de créer une telle structure au champ par le seul travail du sol n'exclut pas les autres procédés d'amélioration et de régénération de la structure, tels que l'enrichissement du sol en matière

organique, le chaulage, la culture des plantes améliorantes, etc., mais, au contraire, elle accélérera et rendra plus efficace l'action de ces techniques.

C'est pourquoi il est nécessaire que la détermination de l'humidité structurale du sol soit tenue comme obligatoire dans la pratique des recherches poursuivies sur le sol, qu'elle soit reconnue comme essentielle, ainsi que l'analyse mécanique et l'analyse chimique.

BIBLIOGRAPHIE.

1. A. Puchner, *Untersuchungen über die Kohärenz der Bodenarten* (*Forsoh. Geb. Agricult. Phys.*, 1889, 12, 239).

2. E.-C. Fippin, *Some causes of soil granulation* (*Proc. Amer. Soc. Agron.*, 1910, V. 2).

3. F.-K. Cameron, *The soil solution* (*Chemical Publ. Co. Easton*, 1911).

4. A.-B. Searle, *Clays and clay products* (*Third Report on colloidal Chemistry and its general and industrial application*, 1929).

5. Bouyoucos, *The influence of Water on soil granulation* (*Soil Science*, 1924, XVIII).

6. E.-A. Mitscherlich, *Bodenbearbeitungsversuche* (*Mitt. Dtsch. Landw. Ges.*, 1927, 40, 912).

7. J.-A. Slipher, *The mechanical manipulation of soil as it affects structure* (*Agric. Engineering*, 1932, III).

8. P. Vassilenko et A. Setzinsky, *Résistance des sols à la compression; un des facteurs caractérisant le travail des instruments agricoles* (*Pedology*, 1933, n° 6).

9. D.-G. Vilensky et V.-V. Guermanova, *Étude expérimentale des questions concernant la formation de la structure* (*Pedology*, 1934, n° 1).

RECHERCHES

SUR LA STABILITÉ DE LA STRUCTURE DU SOL

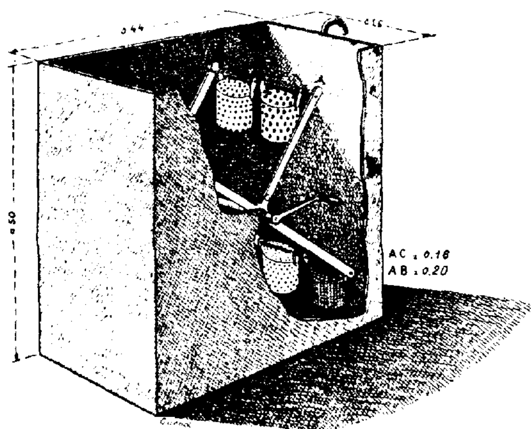
PAR

M. A. AKHROMEIKO.

(Résumé établi par M. Hénin, d'après un mémoire de l'auteur.)

L'auteur considérant l'importance de la stabilité de la structure en agronomie se propose de la déterminer. Il a imaginé pour cela l'appareil suivant :

Une caisse en forme de parallélipipède rectangle en fer galvanisé de 50 centimètres de haut, 44 de long et 25 de large, posée sur le côté 44×25, et dont les centres des faces 44×50 sont traversés par un axe perpendiculaire à



leur plan. Sur cet axe sont montés, à l'extérieur, une manivelle, à l'intérieur deux cadres perpendiculaires l'un à l'autre fixés à l'axe, auquel ils sont parallèles, par le milieu de leurs plus grands côtés.

Sur les petits côtés des cadres on peut monter des petits godets de fer à l'aide de crochets leur permettant de rester verticaux lors de la rotation du cadre. Chacun de ces godets est percé de trous de même diamètre, le diamètre étant différent pour chaque godet. Ils sont munis d'un couvercle également perforé.

Un tube placé sur une face de la caisse permet d'y faire arriver un liquide

convenablement choisi sans en diriger le jet sur les godets où se trouvent les échantillons. Un trop plein permet de mettre une quantité de liquide suffisante pour immerger tout l'appareil d'agitation.

Mode opératoire.

On prend un échantillon de sol et l'on sépare à l'aide de tamis les groupes de particules indiqués ci-dessous d'après leur diamètre en millimètres :

7-3 3-2 2-1,5 1,5-1,0 1,0-0,5 0,5-0,25 0,25-0,125.

Puis on place un poids P de particules de chacun des groupes ainsi séparés dans les gobelets-tamis, en mettant le groupe 7-3 dans un tamis perforé de trous de 3 millimètres et ainsi pour les autres groupes. On tourne alors la manivelle de l'appareil pendant deux à cinq minutes (temps variable suivant la teneur du sol en argile) à raison de 16-18 tours-minute. On pèse les fractions de terre restant dans chaque tamis après les avoir séchées à 105 degrés. Un dosage d'humidité sur une portion de l'échantillon non traité permet de ramener la pesée de sol par un calcul, à son état d'humidité avant traitement.

Résultats. — Le tableau suivant donne les résultats des essais sur des sols séchés à l'air et travaillés dans l'eau.

TABLEAU I.

STABILITÉ DES FRACTIONS-POIDS RESTANT DANS LE TAMIS EN P. 100 DE LA PRISE INITIALE.

DIMENSION DES FRACTIONS EN MILLIMÈTRES.

TYPE DU SOL.	7-3.	3-2.	2-1,5.	1,5-1,0.	1,0-0,5.	0,5-0,25.	0,25-0,125
Tchernosiem épais de la stat. expérimentale de Tambov.	5,9	11,7	12,5	22,8	42,7	62,5	85,0
Tchernosiem dégradé de la stat. expérimentale de Chatilovo.	15,4	18,0	14,0	15,0	44,4	57,1	90,4
Sol forestier brun foncé du champ d'expérience d'Orel.	6,1	13,0	16,0	22,8	34,2	72,2	88,1
Sol forestier gris de la stat. expérimentale de Gorkij.	11,3	11,3	5,1	20,2	43,3	71,3	84,6
Sol podzolique de la stat. expérimentale occidentale.	11,0	14,6	23,6	42,2	56,6	89,0	98,9
Sol gris de la stat. expérimentale Kaountchin.	3,8	2,3	2,0	2,0	8,0	37,6	49,0
Terre rouge de la stat. expérimentale de Tchakva.	62,0	70,9	62,0	54,0	70,0	77,9	84,6
Sol d'alluvion du Trans-Caucase (Adjamet).	94,6	72,6	67,0	55,7	86,1	90,4	93,3
Horizon sous-arable, tchernosiem dégradé de la stat. expérimentale de Chatilovo.	53,6	50,0	70,8	68,4	78,0	85,6	95,0

L'auteur estime que le poids de chaque fraction restant dans l'appareil mesure sa stabilité. Il tire, des résultats exposés, les conclusions suivantes :

La grande majorité des sols examinés possèdent une macrostructure très peu solide (la macrostructure est caractérisée, d'après l'auteur, par les mottes de terre ayant 1 millimètre et au-dessus) et une microstructure très solide (la microstructure est caractérisée par les mottes ayant moins de 0 millim. 5 de diamètre).

Une exception à cette règle est présentée par les terres rouges de Tchakva, les sols alluviaux d'Adjamet et l'horizon sous-arable du tchernoziem dégradé de Chatilovo. Ces trois échantillons ont une structure stable, non seulement dans l'intervalle de la microstructure, mais aussi dans l'intervalle de la macrostructure. L'auteur explique, dans ce cas, la stabilité de la macrostructues par l'influence des sesquioxydes qui se trouvent en grandes quantités dans les sols examinés.

En étudiant les répartitions des agrégats de deux parties d'un même échantillon traitées différemment, l'une séchée à l'air, l'autre humide, on obtient les résultats suivants :

TABLEAU II.

STABILITÉ DE LA STRUCTURE D'UN SOL DANS DIFFÉRENTES CONDITIONS (SEC OU HUMIDE).

ÉTAT DU SOL.	SOLIDITÉ DES AGRÉGATS DU SOL EN P. 100 DE LA PESÉE PRISE.							
	7-5 millimètres.	5-3 millimètres.	3-2 millimètres.	2-1.5 millimètres.	1.5-1 millimètres.	1-0.5 millimètres.	0.5-0.25 millimètres.	0.25-0.125 millimètres.
Tchernosiem dégrade de la stat. expérimentale de Chatilovo, une pesée séchée à l'air (9,0 p. 100 d'eau).	14	13	12	14	18	39	84	95
Tchernosiem dégradé de la stat. expérimentale de Chatilovo, une pesée humide (31 p. 100 d'eau).	29	31	36	41	50	59	70	81
Podsol du champ d'expérience Dolgoproudnoje, une pesée séchée à l'air (4,5 p. 100 d'eau).	13	10	14	12	14	37	79	93
Podsol du champ d'expérience Dolgoproudnoje, une pesée humide (24 p. 100 d'eau).	36	38	34	38	47	56	64	75

L'auteur conclut de ces résultats qu'un sol humide a une macrostructure plus stable et une microstructure moins stable qu'un sol séché à l'air. Ces résultats dépendent d'ailleurs de l'humidité de l'échantillon. Si le sol est très humide, la structure n'est plus stable du tout (que ce soit macro ou microstructure).

L'auteur remarque que ses conclusions rejoignent celles de D. G. Vilensky et permettent de donner une base scientifique à la notion de «maturité du sol».

Détermination de la répartition des agrégats stables suivant leurs dimensions.

L'auteur place, au lieu des godets-tamis indiqués, un jeu de tamis s'emboîtant les uns dans les autres et tels que le tamis intérieur et supérieur soit à trous de 5 millimètres et que le tamis inférieur et extérieur soit à trous de 0 millim. 125. Les autres tamis ont un diamètre décroissant du deuxième à l'avant-dernier.

On place alors la pesée de terre dans le tamis supérieur et l'on fait tourner l'appareil pendant cinq minutes. En pesant la terre contenue dans chacun des tamis, on a la répartition des agrégats stables suivant différentes dimensions.

TABLEAU III.

TYPE DE SOL.	DIMENSIONS des MOTTES choisies en millimètres.	PESÉE en GRAMMES.	POIDS DES FRACTIONS SÉPARÉES SUR LESQUELLES S'EST DIVISÉE LA FRACTION EN P. 100 de la pesée prise.						
			7-3.	3-2.	2-1,5.	1,5-1.	1-0,5.	0,5 -0,25.	0,25 -0,125.
Tchernosiem épais de la stat. expérimentale de Tambov.	7-3	75	8	6	5	12	18	27	15
Sol forestier gris de la stat. expérimentale de Gorkij.	7-3	100	6	2	1	1	8	28	33
Sol d'alluvion de la stat. expérimentale d'Adjamet.	7-3	100	81	7,5	0,5	1	1,5	0,5	1

Si l'on veut rendre compte de la répartition en classes des agrégats dont est formée une terre, on prend les mêmes dispositions que pour l'analyse ci-dessus mais on travaille dans un mélange de benzol ou d'alcool et d'eau pour éviter la destruction des agrégats par l'eau.

Dans ce cas, on détermine les agrégats inférieurs à o millim. 125 par la méthode pipette.

L'auteur trouve que la répartition des agrégats en classes ne permet pas de caractériser un sol, l'humidité de l'échantillon et le travail du sol avant son prélèvement, paraissant influer énormément sur les résultats.

Remarque générale.

L'auteur insiste sur la stabilité de la microstructure dans presque tous les cas, les rares exceptions à cette remarque (sol gris de la station de Kaountchin, tableau I) sont dûes à la présence de carbonates alcalins favorisant la peptisation des ciments.

SUR UN MODE D'EXPRESSION CARACTÉRISANT L'ÉTAT STRUCTURAL DES SOLS

PAR

S. HÉNIN

(VERSAILLES).

Structure des sols.

La structure résulte de la superposition des agrégats[1] et des mottes[2]. On dit que la structure est favorable quand les espaces lacunaires, espaces libres entre les mottes et les agrégats, permettent une circulation des fluides telle qu'elle conduise à la meilleure récolte.

Cette structure n'est pas identique pour toutes les cultures. Les praticiens savent que le blé exige avant tout une structure stable, que l'avoine s'accommode des changements de structure ainsi que la pomme de terre, à condition toutefois, pour cette dernière, que le milieu soit toujours à structure grossière. Il est donc important, au point de vue agronomique, de pouvoir caractériser l'état de la structure.

Détermination de la structure.

On peut, en traitant les échantillons de terre d'une manière appropriée et en classant ensuite leurs agrégats stables d'après leur diamètre, rendre compte de la structure type d'un sol ainsi que l'ont montré Demolon et Hénin (*Recherches sur le sol*, 1932, vol. III, n° 1).

---

[1] Les agrégats ont été définis comme des floculats colloïdaux ayant inclus des particules minérales (Demolon et Hénin).

[2] Les mottes de dimensions plus importantes sont fournies par l'agglomération des agrégats (Bouyoucos; Demolon et Hénin).

Expression de l'état d'agrégation.

On exprimera l'état d'agrégation par le rapport :

$$\frac{S}{s} = \frac{\text{surface des particules non agrégées}}{\text{surface des particules agrégées}}$$

dont le quotient D, coefficient de dispersion du sol, est proportionnel à l'agrégation du sol. Le rapport I/D représente le coefficient C d'agrégation du sol.

Calcul de la surface des particules agrégées. — On ramène à 100 grammes le poids de l'échantillon de terre à examiner. Si K est le coefficient de surface de 1 gramme de particules de la classe 2.000 μ-200 μ et m le poids des particules de cette classe, mK représente leur surface.

La surface totale des particules d'une masse M d'un corps divisé en fragments égaux croît de façon inversement proportionnelle au diamètre des fragments. La fraction 200-20 μ aura donc un coefficient de surface par gramme, de 10 K. Si m' représente le poids de la fraction, sa surface sera m' 10 K.

La surface de la fraction 20-2 μ sera d'après ce qui précède m'' 100 K. La surface totale des particules sera :

$$m'' \; 100 + m' \; 10 + m \; \mathrm{K}.$$

Si l'on suppose que la forme et la densité des particules sont les mêmes pour tous les sols, le coefficient K est identique et l'on peut prendre la valeur S/K comme terme de comparaison. m'' 100 + m' 10 + m représente un facteur spécifique de surface que nous appellerons S.

Calcul de la surface des particules prises à l'état non agrégé. — Nous désignons ainsi les particules minérales isolées par l'analyse mécanique après dispersion. On rassemblera dans une même classe 20-2 μ l'argile et le limon. Le facteur de surface sera calculé comme pour les particules agrégées. Soit p''100 + p' 10 + p le facteur spécifique trouvé que nous appellerons s, le quotient D =

$$\frac{p''.100 + p'.10 + p)}{m''.100 + m'.10 + m)} = \frac{S}{s}.$$

Le groupement de l'argile et du limon dans une même classe se justifie par le fait que les agrégats de la classe 20-2μ ne donnent pas une bonne structure (terre battante). Or, si l'on exprime l'argile avec son coefficient de classe (1.000) on a, pour déterminer D, un rapport de la forme

$$\frac{(p'''.1000 + p''.100 + p'.10 + p)}{m''.100 + m'.10 + m}$$

ce qui donne D au moins égal à 10 dès que l'argile est floculée, c'est-à-dire passe de la classe 2-0μ à la classe 20-2μ (cas général en pratique, l'argile étant toujours floculée) cela sans formation d'agrégats favorables à la structure. Ainsi un sol non agrégé aurait un coefficient D dix fois plus grand qu'un sable non argileux, par conséquent non agrégé, et pour lequel D est évidemment égal à 1 ; ce qui ne peut pas se soutenir.

Importance de la texture.

Il est impossible de représenter l'aspect structural d'un sol à l'aide de son seul coefficient d'agrégation. En effet, un sable sans argile, donc non agrégé, (milieu à structure grossière), et une argile plastique non agrégée (milieu à structure fine) pour une raison quelconque, ont sensiblement le même coefficient d'agrégation. Il paraît donc indispensable de tenir compte de la texture (c'est-à-dire la répartition en classes, suivant leur diamètre, des éléments minéraux du sol déterminés par l'analyse physique après dispersion).

Représentation de la texture.

On représentera la texture par sa surface que l'on calculera comme pour les particules agrégées. Cependant on multipliera arbitrairement le coefficient de l'argile par 10 pour tenir compte de son importance prépondérante dans les propriétés physiques des sols, l'expression deviendra $p'''10.000 + p''100 + p'10 + p$[1]. Si, au lieu de prendre des nombres pour représenter p'', etc., on prend des chiffres, la parenthèse devient un nombre et l'expression de la texture devient $T = p'''_p, p'', p', p$.

L'avantage de cette représentation réside dans ce que le nombre T est formé par les chiffres donnant la teneur de la terre en éléments de chaque classe.

Arbitrairement pour éviter, étant donnée la grandeur de son coefficient, de donner trop d'importance aux faibles quantités d'argile, nous les noterons seulement lorsqu'elles seront supérieures à 5 p. 100.

Expression de l'état structural.

Nous proposons de caractériser l'état structural d'un sol par le produit $T \times \frac{1}{D}$ explicité.

Voici à titre d'exemple les valeurs T et D calculées pour quelques sols.

---

[1] Le coefficient 10.000 a été choisi de façon à pouvoir utiliser la teneur centésimale de l'argile, la teneur décimale étant insuffisante pour bien représenter les propriétés des sols. Soit p'''_p le nombre exprimant la teneur en argile.

TABLEAU I.

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.	ÉTAT DU SOL.	DIAMÈTRE DES PARTICULES.				COEFFICIENTS.	
		0-20.	2-20.	20-200.	200-2000.		
Tchernoziem...... 1	Dispersé........	33,7	9	34	13	T = 34131	D = 5,8
	Non agrégé......	"	43	34	13	S = 4652	
	Agrégé..........	"	4	34	62	I = 802	
Limon argileux synthétique. 2	Dispersé........	20	30	48	2	T = 20350	D = 3,8
	Non agrégé......	"	50	48	2	S = 54 2	
	Agrégé..........	"	7	72,5	20,5	I = 1445	
Limon argileux... 3	Dispersé........	16,2	10	67	7	T = 16171	D = 1,5
	Non agrégé......	"	26	67	7	S = 3277	
	Agrégé..........	"	14	73	13	I = 2143	
Limon sableux.... 4	Dispersé........	14,1	6,4	65,8	3	T = 14170	D = 1,6
	Non agrégé......	"	20,5	65,8	3	S = 2711	
	Agrégé..........	"	11,5	46,0	42,5	I = 1653	
Limon sableux synthétique. 5	Dispersé........	10	34	53	3	T = 10350	D = 2,3
	Non agrégé......	"	44	53	3	S = 4933	
	Agrégé..........	"	13	79	8	I = 2098	
Sable........... 6	Dispersé........	3,0	6	85	6	T = 00191	D = 1,3
	Non agrégé......	"	9	85	6	S = 1756	
	Agrégé..........	"	5	88	7	I = 1397	

Ce tableau montre la variation de T avec la texture.

Les variations de D traduisent l'influence agrégeante de l'argile et de son état de saturation.

Dans le sable (n° 6) avec peu d'argile et peu d'agrégation, D est petit.

Dans les limons naturels (3-4), il y a de l'argile mais mal saturée, l'agrégation est faible.

Dans les limons synthétiques (2-5), l'argile est bien saturée par Ca et l'agrégation est bonne.

Enfin le tchernoziem riche en colloïdes saturés de Ca présente une agrégation importante.

L'expression I/D rend compte que le tchernoziem à texture fine est à structure grossière, ce qui en fait un sol contenant de l'eau et de l'air.

Au contraire pour les limons naturels l'aération pourra être déficiente. Enfin

le sable peu agrégé sera aéré, en raison de sa texture grossière, mais il contiendra peu d'eau.

Voici représentés par leurs surfaces extrêmes, les grands groupes de sol (correspondant à la classification agronomique généralement utilisée jusqu'ici :

00009-00342 .... sable.
00342-15341 .... limon sableux.
15341-25520 .... limon argileux.
25520 .... argile.

TABLEAU II.

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.	ÉTAT DU SOL.	DIAMÈTRE DES PARTICULES. 0-20.	2-20.	20-200.	200-2000.	COEFFICIENTS.	
Sol avec argile ayant fixé uniquement $(NO^3)^2Ca$.	Dispersé.........	10	34	53	3	T = 10350	
	Non agrégé......	"	44	53	3	S = 4933	D = 2,3
	Agrégé..........	"	13	79	8	s = 2098	
Sol avec argile ayant fixé uniquement SiO^3KH.	Dispersé.........	10	34	53	3	T = 10350	
	Non agrégé......	"	44	53	3	S = 4933	D = 3,0
	Agrégé..........	"	10	59	31	s = 1621	
Sol avec argile ayant fixé uniquement ClNa.	Dispersé.........	10	34	53	3	T = 10350	
	Non agrégé......	"	44	53	3	S = 4953	D = 2,0
	Agrégé..........	"	16	82,5	1,5	s = 2427	

Dans le tableau II le coefficient D marque la variation de l'agrégation suivant les cations fixés par l'argile.

C'est le ClNa qui, comme on pouvait s'y attendre, produit la moins bonne agrégation.

Remarque sur l'expression T.

On peut reprocher à la valeur T de ne pas tenir compte de l'humus. Mais celui-ci est généralement peu important au point de vue texture et l'on tient compte de son influence favorable vis-à-vis de la structure par le coefficient d'agrégation. L'expression T/D en tient donc compte [1].

Quant au calcaire, seules les terres en contenant moins de 5 p. 100 ont été étudiées. Jusqu'à cette teneur, on peut répéter pour lui ce qui a été dit pour l'humus. Des recherches ultérieures permettront d'exprimer la valeur

(1) Dans le cas des terres humifères, il est difficile de considérer la structure comme nous le faisons ici, nous laissons ce cas de côté.

caractéristique des sols calcaires, à la condition de posséder une méthode de séparation des colloïdes qui laisse le calcaire intact.

Le procédé d'expression de T est valable pour d'autres classes que celles indiquées à condition que ces classes soient en progression géométrique et qu'on utilise un système de numération ayant pour base la raison de la progression.

Baver et Rhoades [1] ont proposé une autre formule pour rendre compte de l'agrégation, mais elle est d'une utilisation plus difficile que celle proposée par nous.

---

[1] *Journal of American Society of Agronomy* 1932, 24 p. 920-930.

UTILISATION DE L'EXPLOSIF
DANS LA FORMATION DE SOLS,

PAR

ANDRÉ PIÉDALLU,

PHARMACIEN LIEUTENANT-COLONEL,
DOCTEUR ÈS SCIENCES,
INGÉNIEUR CHIMISTE, CHARGÉ DE MISSION PAR LE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
ET LE GOUVERNEMENT GÉNÉRAL DE L'ALGÉRIE.

La terre est un support que les millénaires ont modelé au gré de leur fantaisie, par le gel, la pluie, le vent, l'orage et le soleil.

Dans la grande fresque de la Sorbonne, Puvis de Chavanne, pour symboliser la lenteur de l'évolution terrestre a représenté la géologie comme une science assise.

Pourtant, même au cours de la vie d'un homme et, particulièrement, dans ce pays des extrêmes qu'est l'Afrique du Nord, il est facile de constater que la terre est en éternelle évolution. Les montagnes s'éboulent, les chotts et les mers se comblent, les plaines désertiques sont usées par le vent qui transporte les sables à d'énormes distances. Les sels dissous dans les eaux rares soudent les éléments fins en se concentrant et donnent ces couches gypseuses, magnésiennes et calcaires qui couvrent d'immenses espaces désertiques et, le vent continuant son œuvre, lime ces roches tendres, les transforme en sable qu'il transporte plus loin.

L'orage par ses formidables déflagrations combine l'azote et l'oxygène de l'air avec la vapeur d'eau de l'atmosphère, donnant ainsi de l'acide nitrique qui attaque les roches pour s'y combiner et les démolir. C'est là un des secrets du pouvoir fertilisant des pluies d'orages après lesquelles on voit littéralement pousser les plantes dans les pays chauds.

L'acide carbonique des combustions, des fermentations, des respirations humaines, animales et végétales, en dissolution dans l'eau des pluies, attaque le calcaire des roches et libère leurs éléments, laissant des argiles, des sables et des graviers.

Les éboulis des montagnes, les sols vaseux des estuaires, les deltas des rivières, les cônes de déjection des torrents sont propres à la culture. Des graines égarées y donnent de beaux arbres, des arbustes, des herbes fleuries.

Je me souviens avoir vu, dans la vallée du Drac, dans l'Isère, un peuplement du beau Budleia mauve, provenant sans doute d'une semence égarée d'un jardin, pousser sur un îlot de sable et de gravier. Tout le monde connaît le

jardin de Talèfre à la Mer de Glace, dans la vallée de Chamonix et le pré de Madame Carles au pied du Glacier blanc en Val-Louise, tous deux peuplés de plantes vivaces poussées aussi dans les fins déblais des montagnes.

Les Japonais cultivent les algues marines comestibles dans les sols immergés vaseux des estuaires de leur littoral. Les peuplements de palutéviers s'y multiplient naturellement dans les régions tropicales.

Toutes ces roches désagrégées constituent des sols neufs particulièrement propices à la végétation.

Ce que la nature met quelquefois des siècles à accomplir, l'explosif nous permet de le tenter et de l'obtenir très rapidement. Nous pouvons, grâce à lui, fabriquer la terre, la terre support des plantes, la terre grenue, légère, dans laquelle l'eau pénètre et à laquelle nous ajoutons les éléments qui lui manquent pour assurer la fertilité.

Je n'ai pas la prétention de vouloir, partout, transformer la roche ingrate en terre cultivable. Je veux seulement montrer qu'en certains cas cette transformation est économiquement possible et qu'elle paye en revenus les frais de son établissement.

C'est une expérience de fantaisie faite, en curieux, dans le jardin du laboratoire de l'Intendance du Gouvernement militaire de Paris, à Vanves (Seine), qui m'a conduit à penser que des plantes pourraient se développer en pleine roche broyée, sans terre arable.

Comme les résultats ont confirmé mes prévisions, ma conviction fut adoptée par un grand nombre d'agriculteurs, de planteurs et de colons.

J'avais fait un jardin sur un gros tas de mâchefer et récolté sur ce sol ingrat, grâce à l'eau et aux engrais, des choux pommés, des petits pois, des haricots, des navets gros comme le poing, 800 grammes de pomme de terre par pied et des sorghos de 1 m. 80 de haut. Ces résultats étaient intéressants. Ils me sont revenus à la mémoire devant certains sols de la banlieue et du littoral algérois. C'est qu'en effet dans cette région aimée des Dieux, la terre à primeurs atteint des prix astronomiques allant de 50 à 100.000 francs l'hectare. Elle donne trois récoltes par an.

Ces terres légères, qui proviennent de la décalcification des dunes et des plages fixées, sont encombrées de roches et font souvent place à d'immenses bancs de grès à ciment calcaire, non encore attaqués par le temps.

Ces bancs sont une gêne pour la culture et ne rapportent rien.

En de nombreux points de la banlieue d'Alger, dans le Sahel, la molasse affleure et forme des pentes plus ou moins abruptes qu'il est impossible de cultiver par les moyens ordinaires. Les eaux des pluies lavent ces pentes et dévalent en trombe vers les parties basses qu'elles ravinent en détruisant les cultures.

L'Oranie présente des sols analogues.

Sur les Hauts Plateaux, une croûte calcaire provenant de l'évaporation des eaux qui remontent par capillarité, s'étale à quelques centimètres de la surface du sol rendu souvent stérile. Cette croûte calcaire empêche les arbres d'enfoncer leurs racines.

Dans le Sahara, les couches gypseuses, magnésiennes et calcaires font le désert encore plus désertique.

Nous allons étudier l'action de l'explosif dans ces différents sols et les résultats obtenus.

L'EXPLOSIF AGRICOLE.

Tous les explosifs ne sont pas propres aux travaux agricoles. Les uns sont des poisons pour les plantes (chloratés). D'autres sont chers ou d'une manipulation plus ou moins dangereuse.

L'explosif destiné à l'agriculture doit être exclusivement nitré, n'être sensible ni au choc, ni au feu, être très brisant et d'une manipulation facile pour un homme un peu soigneux, être peu sensible à l'humidité.

L'explosif agricole est un résidu de la guerre, constitué par un mélange de trinitrophénol (mélinite), trinitrotoluène (tolite), mono ou dinitronaphtaline, nitrocrésol. Sa puissance est sensiblement égale à celle de la dynamite sans en avoir les inconvénients. Son explosion très brisante laisse dans le sol de l'*oxyde de carbone*, toxique pour les vers, les insectes et leurs larves, les rongeurs, etc., et de l'*azote* plus ou moins combiné qui, repris par les bons microbes du sol donne finalement des nitrates sur l'action desquels je n'ai pas besoin d'insister.

Il ne peut éclater que sous l'action d'une déflagration d'amorçage produite par un détonateur monté sur une mèche de mine ou par une amorce électrique.

Les outils.

Outils de mineurs pour les roches dures : Pistolets, barres à mine, curettes, marteaux pneumatiques, etc.

Pour les bancs de roche tendre, les argiles et les terres : Barre à mine pointue avec tourne-à-gauche, tarière avec tourne-à-gauche pour aléser les trous de mine.

Travail de la molasse.

Les molasses sont des grès calcaires à éléments plus ou moins grossiers, plus ou moins siliceux qui contiennent jusqu'à environ 87 p. 100 de carbonate de calcium.

En Afrique du Nord, la molasse de Mustapha appartient à l'étage astien du pliocène, tertiaire supérieur.

Le Sahel d'Alger est en partie couronné par cette molasse. On trouve une molasse analogue aux environs d'Oran. Elle se présente généralement par strates plus ou moins parallèles de roches tendres sableuses, très friables, séparées par des couches plus ou moins épaisses, souvent minces, de roches plus dures. La tranchée d'Hydra à Alger et celle de la route de Blida, en quittant Alger, montrent des coupes tout à fait parlantes. Tous le bois dit «de Boulogne» qui domine Alger et les pins d'Hydra sont plantés dans cette molasse.

Elle est en partie recouverte par des apports éoliens et fluviatiles qui donnen les terres rouges fertiles, propres aux cultures multiples, principale richesse foncière des environs d'Alger.

En voyant ces pins pousser assez difficilement dans cette roche, j'ai eu l'idée de la briser à l'aide de l'explosif agricole, d'en niveler le grenu et de la transformer ainsi en terre cultivable.

Les premiers travaux ont été faits chez M. Ducastaing à Birmandreis, banlieue sud d'Alger, au flanc abrupt sud-ouest d'un coteau en pleine roche dont la couche de surface, très dure, dépassait 1 mètre et 1 m. 50 d'épaisseur.

Nos expériences ont porté sur la confection de deux banquettes de 10 mètres de large et d'environ 120 mètres de long.

Dans le sens de la pente, à une extrémité, nous ouvrions une tranchée dans laquelle nous abattions le front (couche de surface dure et couche sousjacente sableuse et friable).

Nous faisions des forages verticaux à 0 m. 80 ou 1 mètre de l'apic, de 1 mètre à 1 m. 50 ou plus de profondeur et de 40 millimètres de diamètre, tous les mètres à tous les deux mètres environ. Nous tirions, par bordées de cinq coups, à l'exploseur électrique, des charges de deux à quatre cartouches d'explosif agricole de 100 grammes chacune et reprenions à la base, obliquement, les parties dures qui restaient parfois non éclatées.

Toute la roche brisée était relevée pour faciliter le résultat des mines suivantes. Les gros morceaux étaient mis à part et vendus par le propriétaire pour diminuer les frais, ou servaient à construire les murettes de soutennement des banquettes.

Le grenu, les morceaux petits et moyens des roches étaient ensuite nivelés, fumés au fumier de mouton auquel nous ajoutions des engrais, pour 100 kilogrammes :

Superphosphate	37	kilogrammes.
Sulfate d'ammoniaque	18	—
Déchets organiques : viande, poissons, poils, etc.	32	—
Sulfate de potassium	13	—

Dans cette roche brisée et fumée, complètement exempte de terre, nous avons planté des arbres fruitiers, de la vigne et des pommes de terre. Nos résultats furent magnifiques. Dès la première récolte, cinq mois après la fin des travaux, en juin, sans eau autre que les pluies d'hiver, les pommes de terre ont rapporté 9 pour 1, la vigne était très belle, les petits arbres fruitiers poussaient vigoureusement.

En seconde récolte les pommes de terre ont rapporté 10 pour 1. Des melons plantés dans ce sol ont pu se développer et mûrir sans une goutte d'eau d'irrigation, ni d'arrosage. Dans les mêmes conditions nous avons cultivé des radis excellents qui sont devenus très beaux.



Fig. 1.
Trou de plantation dans la molasse tendre. — L'outillage. — Barre à mine Piédallu avec son tourne-à-gauche. Tarière avec tourne-à-gauche. (Environs d'Oran.)

Les petits arbres, pêchers, abricotiers, amandiers ont sensiblement payé leurs frais de plantation à deux ans, tant leurs fruits étaient beaux, fermes et tant ils avaient bon goût.

Ce travail audacieux n'a coûté au propriétaire qu'une faible avance d'argent, tous les frais ont été payés par la vente des pierres de construction très recherchées à Alger à cette époque. Cette côte abrupte et stérile est transformée maintenant en un beau verger, planté de plusieurs rangs de vigne à raisin de table.

L'eau des pluies torrentielles est absorbée immédiatement par le sol graveleux qui supprime ainsi l'érosion.

Même si l'on néglige la vente des pierres, le coût de ce travail peut être

estimé entre 10 et 30.000 francs l'hectare. La vente des pierres diminue ou supprime complètement ces frais.

Le grenu de molasse et les petits blocs sont suffisants pour former la terre. Ce travail est intéressant pour cette riche région algéroise où, comme je l'ai dit plus haut, la terre à primeurs atteint des prix très élevés. Il serait inapplicable dans les régions moins riches, où l'arboriculture à l'explosif s'impose. C'est d'ailleurs ce que j'ai conseillé dans d'autres domaines où



Fig. 2.
Trou de plantation dans la molasse. — Le résultat. — La roche est largement ouverte, le sol est défoncé à plus d'un mètre de profondeur et fissuré à plus de 1 m. 50.
(Environ d'Oran.)

nous avons fait seulement des trous pour la plantation d'arbres à l'aide de l'explosif agricole en ouvrant simplement la roche au point voulu.

Dans ce cas nous faisons un avant-trou à la barre de mineur dans la partie dure et quand c'est possible nous attaquons avec la barre pointue dont nous facilitons la pénétration en taraudant le trou tous les 30 centimètres environ à l'aide de la tarière d'un diamètre un peu plus fort que celui de la barre à mine.

Dans cette roche souvent friable il faut faire les forages en introduisant de l'eau dans le trou de mine. Si la roche est très tendre on introduit de la terre rouge humide dans le trou une fois fait et on enfonce une seconde fois la barre à mine dedans en tournant plusieurs fois pendant l'enfoncement.

La terre rouge humide forme enduit, les fissures possibles et les poches de sable sont colmatées. La charge d'explosif qui se trouve ainsi dans une cavité étanche et bien close donne un résultat beaucoup meilleur. On a quelque

fois avantage à faire les forages un peu obliquement à environ 1 mètre de profondeur et à mettre trois cartouches de 100 grammes d'explosif agricole dont une amorcée seulement comme charge.

Toute la roche est brisée et fissurée à l'entour et la couche dure du dessus est très ouverte. Il ne reste plus qu'à planter.

Il est, bien entendu, nécessaire de fumer les jeunes arbres si on veut qu'ils poussent avec vigueur, cette roche calcaire qui contient environ 87 o/o de carbonate de calcium n'étant pas à elle seule une terre d'abondance.

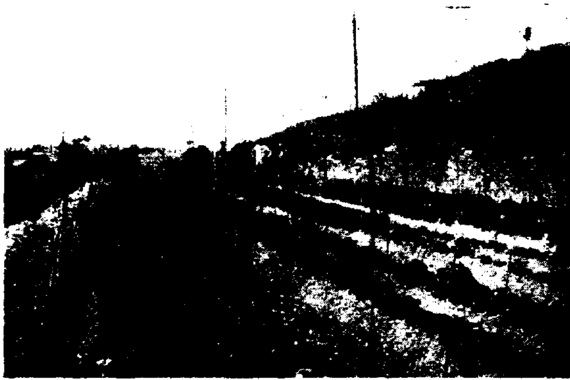


Fig. 3.
Transformation de la molasse en terre cultivable à l'aide de l'explosif agricole grenu de molasse nivelé quelques mois après la plantation Birmandreis, banlieue d'Alger.)

Les avenues du parc d'Hydra à Alger ont été ainsi plantées dans cette molasse qui affleure partout. A Hydra même, le jardin de la villa du capitaine Lavaux a été entièrement fait dans la molasse à l'aide de l'explosif.

Les jardins de deux maisons modestes ont été faits dans les mêmes conditions, l'un à la Côte Fleurie, à Mustapha supérieur, chez M. Soriano, l'autre au golf à Birmandreis, chez l'adjudant Tuffet. Ces deux hommes, courageux et travailleurs, après quelques heures d'apprentissage ont fait eux-mêmes leur terre en la tirant de cette roche ingrate et stérile. Leurs arbres sont beaux : ils récoltent d'excellents légumes.

En grande culture :

M. Dromigny, à Chaïba a ainsi tranformé des centaines d'hectares de coteaux rocheux, couverts de brousse sans valeur, en vignes splendides

Il a en même temps supprimé l'érosion. L'eau des pluies s'enfonce dans le sol ouvert et l'eau qui coule du plateau est retenue par les barrages établis dans le ravin qui traverse sa propriété. C'est un magnifique travail digne de tous les éloges.

Le docteur Dercle et M. Simonard, de Chaïba, ont aussi fait des défrichements à l'explosif agricole, ils ont transformé des centaines d'hectares de brousse en vignes de crus tout à fait remarquables.

M. Duchêne-Marulaz, à Tefeschoun, a fait aussi un excellent travail.

Je pourrais citer de nombreux noms de ces hommes audacieux, pionniers de la civilisation, qui n'ont pas craint de risquer leurs capitaux et de s'atteler à un rude travail pour donner plus de valeur à la terre de cette France d'outre-mer qu'est l'Algérie.

Travail des grès du littoral.

Les grès du littoral algérien sont le plus souvent des dunes ou des plages fixées par un ciment calcaire abandonné par l'évaporation des eaux, elles-mêmes calcaires.

Ces grès d'âge pliocène ou quaternaire ancien se présentent en bancs assez épais, souvent très durs, souvent aussi creusés de poches irrégulières plus ou moins grandes et remplies de sable produit par la dissolution du calcaire sous l'influence des eaux de pluies chargées d'acide carbonique ou des eaux d'orages contenant de l'acide nitrique à une grande dilution.

Dans les terres à primeurs du littoral, on voit souvent des amas gréseux très gênants pour la culture connus sous le nom de «têtes de chat».

La base de tous ces amas gréseux est généralement graveleuse, la vigne peut y enfoncer assez facilement ses racines. Il suffit de briser la couche supérieure dure pour constituer une terre de premier ordre, propre à toutes les cultures de primeurs, et en particulier, aux vignes dont les raisins de table arrivent en France dès la fin de juin et le début de juillet. Cette terre artificielle est d'ailleurs bien supérieure comme fertilité à la terre naturelle toujours décalcifiée.

Le principe d'attaque est le même que pour la molasse :

Tranchée de front sur laquelle on abat, par bordées de mines, à l'exploseur électrique.

MM. Escoffier, Ménadier, Chaudière, Courgeon, etc., à Guyotville; Borgeaud à la Trappe, Dourin, Vérinot, etc., à Staouéli; Reichtenvald, Raffin à Zéralda; Vasseur à Castiglione, etc., ont fait des travaux remarquables. Ils ont complètement modifié l'allure de la région qu'ils cultivent. Grâce à eux, la roche ingrate et la maigre brousse ont fait place aux riches cultures de primeurs et de vignes à raisins de table.

Fait curieux pour le profane :

La vigne plantée dans la roche broyée a donné une reprise totale. La même vigne plantée dans la terre fertile a eu des manquants. La vigne plantée à l'explosif a une avance d'au moins deux ans.

M. Vérinot a pu cultiver des courgettes et des tomates sans arrosage dans la roche broyée avec laquelle il a très heureusement modifié la topographie de son domaine. MM. Dourin, ses voisins, ont fait de même. MM. Borgeaud, Raffin, etc., se sont servis de marteaux pneumatiques pour le forage des trous de mine et en ont obtenu satisfaction.

Un bon outillage et un personnel entraîné permettent une notable économie.

Travail de la croûte calcaire et du tuf des hauts plateaux.

Les hauts plateaux, qu'ils soient constantinois, algérois ou oranais, sont les résultats d'actions géologiques assez jeunes qui se continuent encore de nos jours.

Les montagnes soulevées par les mouvements pyrénéens et alpins ont été



Fig. 4.
Camp de Telergman. — Hauts plateaux Constantinois.
Croûte calcaire formant une véritable dalle qui affleure en surface sur des milliers d'hectares; en dessous, tuf calcaire humide.

démolies par les siècles. Leurs déblais accumulés les ont ensevelies par la base; Les buttes des plateaux de Sétif en sont d'incontestables témoins. Ces éboulis ont été plus ou moins nivelés par des apports éoliens et boueux, résidus des érosions annuelles.

Les eaux calcaires qui existent partout, à une plus ou moins grande profondeur, dans ces déblais, remontent par capillarité et, en s'évaporant, produisent cette couche calcaire commune à tous les pays secs. Elle est le plus souvent recouverte d'une faible couche de terre arable. Ailleurs elle affleure, à nu, ou presque, sur des milliers d'hectares.

Le camp de Telergma est situé entre Sétif et Constantine sur un de ces affleurements. Son aridité est légendaire dans toute l'Armée d'Afrique. L'arbre en boule était connu de tous les Anciens qui ont manœuvré dans ce camp déshérité.

Il nous a suffi, avec le commandant Ricard et le capitaine Bénéfice, du génie de Constantine, de briser cette croûte et de défoncer le sous-sol calcaire à l'aide de l'explosif agricole pour faire pousser vigoureusement des arbres.

Onze mille arbres sont actuellement plantés dans ce camp, en avenues, et bosquets. Ces arbres poussent vigoureusement : robiniers, gleditchias, sophoras, mûriers, vernis du Japon, frênes, mélias, etc.

Dans ces sols particulièrement stériles, il est important d'apporter des engrais. Le purin et l'engrais humain sont à recommander. En opérant par intermittence et par petites quantités il n'y a aucun danger de contamination des eaux profondes, la nitrification se faisant très facilement dans ces sols calcaires humides et aérés.

Nos résultats sont tels qu'ils ont fait ouvrir les yeux aux colons de ce plateau aride. Quelques-uns commencent à planter des arbres fruitiers.

Croûte gypseuse saharienne Le «Deb-deb».

Dans le Sahara où la sécheresse est intense, les fleuves, qui coulaient en surface à l'époque quaternaire, ont laissé la trace de leur lit et une certaine quantité d'eau, provenant des massifs montagneux, circule encore, plus ou moins lentement, en profondeur. L'Igharghar qui draine les eaux du Massif Central saharien en est un exemple. Ses eaux reparaissent en certains points de l'Oued Rhir. Un de ses bras alimente les oasis du Souf, région de dunes curieuse qui se trouve entre l'Oued Rhir, le Sud Tunisien et la Tripolitaine.

Les eaux de ce fleuve fossile comme celles de l'oued Mya, de l'oued M'Zi et bien d'autres ont, par l'évaporation intense de ces régions sèches, concentré les sels qu'elles tenaient en dissolution. Ces sels : sulfate et carbonate de calcium, chlorure et sulfate de magnésium, chlorure de sodium, etc., plus ou moins mélangés de sable, ont donné une roche généralement assez tendre qui affleure en maints endroits et qui, le plus souvent, est recouverte par une couche plus ou moins épaisse de sable en éternel mouvement.

Dans le Souf, ce sable atteint en certains endroits 10 à 15 mètres d'épai-

seur. Le Soufi passe sa vie à relever ce sable fin pour l'empêcher d'ensevelir les palmiers qu'il a plantés avec tant de peine.

Sous le sable se trouve une couche de gypse de 1 m. 50 à 3 mètres d'épaisseur qui s'étale en profondeur sur une couche de sable humide.

Les jardins sont établis et les palmiers sont plantés dans le sable humide, sous cette couche gypseuse qu'il faut enlever à grands renforts de pioches, de masses et de coins.



Fig. 5.
El Oued (Algérie).

Banc de gypse de 2 m. 50 d'épaisseur qui s'étale sous une couche de sable de 10 à 15 mètres d'épaisseur. Ce gypse recouvre une couche de sable aquifère dans lequel sont plantés les palmiers. — Préparations d'une série de mines pour abattre le front.

J'ai appris à ces indigènes tenaces que l'explosif pouvait leur rendre de grands services. Ils m'ont dit, après un an d'expérience, qu'ils pouvaient maintenant faire beaucoup plus vite, pour 150 francs, un travail qui leur coûtait 450 à 500 francs auparavant.

Dans les Zibans et dans l'Oued Rhir, les plantations de palmiers ne se font plus guère qu'à l'explosif agricole.

Nous avons pu, par des soussolages appropriés, rajeunir de vieilles palmeraies chétives et asphyxiques, si bien qu'en moins de trois ans, nous avons pu, grâce à l'explosif agricole, doubler le rendement des palmiers en dattes dans l'Oued Rhir et dans les Zibans avec MM. Bonhoure à Ourir, Métay à M'Rayer et Djemmaa, Ranoux à Touggourt, Buchère à Tolga, etc. Le Père Robin a dit au Congrès du dattier de novembre 1933 qu'il a triplé le rendement de ses dattiers à Ouargla.

Travail des schistes, gneiss, granite, basalte, etc.

Toutes ces roches brisées, si dures soient-elles, sont susceptibles de donner des sols cultivables, à la condition d'ajouter à ces sols vierges les éléments de fertilité qui leur manquent, en particulier la chaux.

Les expériences que nous avons observées et faites avec M. Carayol, l'éminent directeur des domaines d'Algérie, à la station climatique d'Aïn Sour, dans le Zaccar, près de Miliana, sont très expressives.

Deux arbres, des robinias, avaient été plantés à la pioche en même temps, l'un était chétif dans la terre schisteuse privée d'éléments calcaires, l'autre plantureux dans les déblais de démolition d'un mur riche en mortier de chaux.

En dehors du châtaignier et des chênes-liège qui sont calcifuges, tous les arbres de cette station sont maintenant plantés à l'explosif, en sol schisteux pauvre amendé à la chaux et additionnés d'engrais.

Les forages sont faits de 0 m. 70 à 1 mètre; la charge est de 2 ou 3 cartouches de 100 grammes par trou.

Avec M. Truet, professeur à l'École Normale de la Bouzaréa, nous avons planté, en plein gneiss, tout un flanc de ravin.

Presque tous les arbres plantés dans des trous faits à l'explosif, à la manière forestière, sans engrais et livrés à eux-mêmes, se développent régulièrement. Ils ont déjà passé deux étés sans une goutte d'eau; l'eau d'hiver absorbée par le gneiss brisé et fissuré par l'explosif a suffi. Nous mettions aussi deux ou trois cartouches par trou.

En juin 1932, nous avons planté une ligne de *Camerops excelsa,* palmiers décoratifs, âgés d'au moins 30 ans, devant l'Université d'Alger, en plein gneiss. Les trous de plantation ont été ouverts à l'explosif. Ces palmiers sont tous vigoureux et de très belle venue. Nous avions fait à la pioche, dans les parties moins compactes, des avant-trous de 50 centimètres environ au fond desquels nous avions foré des trous de mine de 55 à 60 centimètres de profondeur. Une cartouche suffisait pour briser et fissurer la roche. Je faisais mettre des fagots de branchages pour éviter les projections au loin.

Quelques explications sur les résultats obtenus dans la mise en culture des sols rocheux travaillés à l'explosif.

Le travail des roches à l'explosif est simplement l'imitation rapide de la longue action du temps dans la nature.

La roche brisée en fines particules constitue un sol éminemment perméable et très aéré dans lequel l'eau des pluies et celle des condensations nocturnes, bien plus constante, pénètre.

Le grenu des roches très meuble, très divisé, empêche la montée de l'eau du fond par capillarité, de sorte que presque toute l'eau reçue reste dans le sol à la disposition des plantes au lieu d'être emportée par l'évaporation intense de surface.

J'ai remarqué que les gravillons anguleux absorbent et gardent mieux l'humidité des nuits que les petits galets de rivière de même volume.

L'examen des tas de gravillons qui bordent les routes est tout à fait suggestif à ce point de vue. Pendant les mois de sécheresse, on ne trouve plus de maigre verdure qu'au pied des tas de cailloux. Cette observation m'a fait conseiller de garnir les pieds des arbres d'une couche de 5 à 10 centimètres d'épaisseur de gravillons ou de petites pierres qui retiennent l'eau, lui permettent de s'enfoncer et l'empêchent de remonter par capillarité. Ces pierres jouent le rôle d'un paillis permanent. Je conseille toujours aussi, quand c'est possible, de mettre une couche de petites pierres poreuses ou morceaux de briques au fond des trous de plantation sur 20 ou 40 centimètres d'épaisseur. Cette couche du fond est en même temps un support pour l'arbre, un drainage et une citerne réserve d'eau pour l'été.

Dans ces sols neufs, l'humidité latente, l'aération facile, la présence de calcaire ou de chaux favorisent la nitrification. Le fumier apporte les matières organiques et les bactéries favorables se développent. Il est facile de voir que la nitrification est intense dans ces sols artificiels. Si on maintient humide un tas de molasse ou de grès à ciment calcaire brisés en l'arrosant de temps en temps avec du purin coupé d'eau ou simplement avec de l'urine étendue d'eau, on voit très rapidement des algues vertes envahir la surface, indice d'un milieu riche en nitrates.

Il se fait dans ces sols aérés un travail bactérien intense, le même que celui des lits bactériens qui font suite aux fosses septiques; travail exagéré par l'extrême porosité, la grande aération et la constitution chimique du milieu qui permet la neutralisation de l'acide nitrique aussitôt formé.

Dans le Sahara, la couche de « Deb deb » gypseuse et magnésienne est, en même temps, soluble et imperméable. Il suffit de la fissurer à l'explosif pour permettre à l'eau d'y pénétrer en profondeur et d'en dessaler la surface. C'est ainsi que, avec MM. Lemmet et Gueudin, nous avons rendu cultivables des taches salées complètement infertiles à la station expérimentale d'Aïn ben Nouï, près Biskra.

Destruction des roches isolées.

L'explosif agricole permet de briser les roches isolées très facilement et sans faire de trous dedans.

Il suffit de placer sur une roche, débarrassée des parties désagrégées ou tendres, une charge d'explosif agricole amorcée, de la recouvrir d'une couche

de mortier de terre de 10 à 15 centimètres d'épaisseur, d'allumer la mèche et de se mettre à l'abri pour voir la roche brisée en morceaux maniables. On peut aussi prendre la roche par dessous.



Fig. 6.
Fossé de drainage creusé dans le basalte, à l'aide de l'explosif agricole, pour dériver un petit oued à flanc de montagne.
(Propriété Mariano Ameur-el-Aïn. Mitidja sud-ouest.)

Nous avons pu dérocher très économiquement ainsi d'immenses espaces en France et en Afrique du Nord.

Travaux divers.

L'explosif agricole permet aussi de pratiquer économiquement et rapidement le *dessouchage*, l'*arrachage des arbres* et le *drainage*.

J'ai pu faire en Touraine un puits absorbant de drainage, de 5 mètres de profondeur et de 1 m. 30 de large, avec un homme pour m'aider, en cinq coups de mine et dix heures de travail dans un sol argileux compact. Ce puits serait revenu à une centaine de francs, main-d'œuvre comprise.

Il m'a permis d'assainir un vaste champ qui était noyé tous les hivers et d'éviter tous frais coûteux.

Travail des terres ordinaires argileuses, graveleuses, etc.

L'explosif permet de planter économiquement dans tous les sols et très facilement dans la terre ordinaire.

On peut faire en cinq minutes un trou pour planter un arbre, représentant 7 à 8 mètres cubes de terre divisée et fissurée pour une dépense de 1 fr. 50

à 1 fr. 75 avec une cartouche d'explosif agricole amorcée d'un détonateur monté sur une mèche de mine.

Deux cartouches dont une amorcée revenant de 2 fr. 50 à 2 fr. 75, donnent 15 à 16 mètres cubes de terre travaillée.

Le sol parfaitement ouvert absorbe l'eau qui ruisselait auparavant et, si l'on ajoute l'engrais nécessaire au bon développement des plantes, les arbres poussent avec vigueur.

En Afrique du Nord, dans le Sahel d'Alger, des pruniers plantés en terre rouge ont payé leurs frais en vingt mois. Des orangers soussolés étaient couverts de fruits deux ans après.

Dans le jardin de la maison que j'habite, à la Côte Fleurie à Alger, j'ai soussolé des arbres fruitiers mal venus. Dix-huit mois après ils étaient vigoureux et couverts de fruits.

Dans la terre, l'action de l'explosif agricole est triple :

1° Action physique d'ouverture;

2° Action chimique de désinfection par l'oxyde de carbone, résidu de l'explosion qui tue les larves, les insectes, les rongeurs, etc.. ayant pu résister à la déflagration;

3° Action chimique d'engrais; l'azote plus ou moins combiné, résidu de l'explosion, est repris par les bons microbes du sol et donne des nitrates.

Il est cependant nécessaire d'ajouter des engrais courants suivant les terres : superphosphate ou scories de déphosphoration, chlorure ou sulfate de potassium, sulfate d'ammoniaque, magnésie, etc., pour que les plantes se développent avec vigueur, même dans les sols pauvres.

Sur la place publique de Chébli, dans la Mitidja, piétinée depuis la fondation du village, nous avons, avec M. Houlmière, le distingué maire, planté à l'explosif un jardin public dont les arbres atteignent 5 mètres à trois ans.

En France, nous avons planté et soussolé des milliers et des milliers d'arbres fruitiers avec M. Roques, de Morée (Loir-et-Cher), M. Morel, de Vourles (Rhône), M. Alpuente, de Saint-Pons (Hérault). Beaucoup de pêchers de la vallée de l'Érieux, en Ardèche, sont maintenant plantés et soussolés à l'explosif agricole.

RÉSUMÉ.

L'explosif agricole nous a permis de transformer des milliers d'hectares de sols incultes tant en France qu'en Afrique du Nord, en terre d'abondance, en vergers et en vignes, et d'y supprimer l'érosion.

Nous avons pu, dans le grenu de molasse et de grès à ciment calcaire, obtenir des vignes et des arbres fruitiers splendides et produire trois récoltes de primeurs par an; planter sur une place, un jardin public dont les arbres

atteignent 5 mètres à trois ans; planter 11.000 arbres sur une immense dalle de pierre de plusieurs centaines d'hectares, au camp de Telergma (haut plateau sétifien); améliorer tellement les conditions de culture des dattiers que leur rendement en dattes a été doublé dans l'Oued Rhir et les Zibans et qu'il a été triplé à Ouargla.

En réalité, toutes ces expériences, vieilles déjà de plusieurs lustres, prouvent qu'il n'y a pas vraiment de sols stériles.

Avec de l'eau, de l'air, de la lumière, de la chaleur et des engrais, les plantes poussent et exploitent admirablement le sol. Elles se contentent souvent, surtout en terre d'Afrique, d'une très faible humidité et d'une très petite quantité de gaz carbonique pour produire une végétation luxuriante.

Les roches brisées mettent leurs éléments chimiques plus intimement à la disposition des plantes et absorbent facilement l'eau de condensation des nuits, des nuages et les rosées.

Il faut voir, au mois d'août, les vignobles algériens bien travaillés étaler leurs nappes vigoureuses d'un vert intense, sous le soleil brûlant, pour se rendre compte de l'aptitude des plantes à exploiter le sol.

Je ne saurais trop chanter ici les louanges des hommes audacieux, des pionniers d'avant-garde qui m'ont suivi, tant en France qu'en Afrique du Nord et dans nos autres colonies. Ils ont bien travaillé pour le pays.

Il est heureux que l'État, en la personne des grands chefs de ses diverses administrations, ait compris l'intérêt d'une telle méthode et favorisé sa diffusion.

L'arbre planté nous dépasse; même vieux, il fleurit au printemps. Il habille le sol qui le porte. Il est un rempart vivant contre l'érosion dévastatrice.

Plantons, sans nous lasser jamais.

Il faut planter comme si on ne devait jamais mourir.

IMPORTANCE DU TRAVAIL DU SOL,

PAR

M. BRÉTIGNIÈRE.

(GRIGNON.)

Peut-on essayer de définir en quoi consiste le bon travail du sol; le praticien que vous entendez est embarrassé pour dicter au professeur une définition à caractère universel. Et, cependant, partout le travail du sol tend aux mêmes fins, mettre la terre en état de recevoir les semences, assurer à la jeune plante un développement régulier, lui réserver les éléments utiles que le sol renferme, assurer une évolution complète, la seule qui puisse correspondre à un rendement convenable.

Ces termes sont très généraux car, dans l'application, les formules vont varier à l'infini, d'autant que des considérations d'un tout autre caractère viennent troubler la solution du problème. L'agriculture, industrie créatrice et transformatrice, entend être rémunérée de sa peine; elle a aussi l'ambition de constituer une épargne lui permettant de développer ses moyens ou de collaborer au progrès des autres activités humaines. L'agriculture est donc obligée de mettre en parallèle le montant de l'effort qu'elle consacre au travail du sol et la valeur des produits qu'elle récolte. Dans ces conditions, à la notion stricte et théorique du travail parfait se substitue la notion infiniment plus nuancée du travail qui paye.

Toutefois, le cultivateur gagne a être bien pénétré de la notion du travail bien fait, il est suffisamment contrarié par les saisons, par les soucis de main-d'œuvre ou plus simplement par les possibilités budgétaires pour négliger quelque chose et rester en deçà du programme théorique, telle situation étant donnée.

Quelles sont les possibilités offertes par le travail du sol? Comment réaliser un programme de travail rationnel? Pour répondre à ces questions, on doit suivre le développement de la plante, de la germination de la semence à la période de récolte.

Les conditions favorables à la germination sont satisfaites lorsque l'eau du sol peut imbiber facilement la semence; la perfection du travail du sol dépend de la nature de la graine, de sa rusticité, du genre de terre et même du climat moyen. La nature de la graine est envisagée sous le rapport de la grosseur; une semence de faible dimension réclame un grain de terre plus fin qu'une semence de forte dimension; la rusticité de la sorte cultivée influe

nettement, une plante peu difficile s'accomodera aisément d'un milieu moins bien préparé; la fève est moins exigeante que le haricot. Le genre de sol intervient également car une terre à éléments fins aura toujours tendance à enserrer la semence plus étroitement qu'une terre à éléments grossiers; un climat froid et humide commande une préparation plus complète pour que la période de germination soit raccourcie; au contraire, un climat favorable par sa température, son état hygrométrique, diminue les exigences.

Le travail superficiel du terrain est donc plus ou moins parfait suivant les conditions dans lesquelles se présente l'ensemencement. Une même terre sera traitée différemment suivant la saison; laissée légèrement motteuse à l'automne pour le semis du blé, plus divisée pour l'avoine de printemps, extrêmement ameublie et tassée s'il s'agit de recevoir une semence de betteraves.

La germination a eu lieu, le système radiculaire s'organise de manière très différente selon les plantes, on pourrait être tenté de réserver aux seules plantes dites pivotantes le bénéfice d'une terre profondément ameublie, l'erreur serait grave car toutes les plantes ont la possibilité de développer en profondeur leur système radiculaire ou du moins une partie très importante; ainsi est accru le volume de terre mis à la disposition du végétal, et sont augmentées sensiblement les conditions de résistance tant à la sécheresse qu'à l'humidité excessive.

Le travail profond du sol est un problème extrêmement délicat à mettre au point; il faut tout d'abord ne pas ramener en surface des éléments défectueux physiquement ou chimiquement; souvent même, il vaudrait mieux remuer sur place par le fouillage que retourner des couches épaisses de sol et de sous-sol. Ce premier point acquis, il s'agit ensuite d'obtenir une liaison régulière entre toutes les parties remuées et d'éviter particulièrement le maintien de vides, obstacles à la bonne circulation de l'eau, à l'appui régulier des racines. Les plantes ont des eixgences très diverses à cet égard et la nature du sol se prête très diversement à la réalisation du programme; une terre à éléments fins, travaillée à un état convenable d'humidité, perd rapidement l'état caverneux qui résulte du labour; au contraire, les difficultés sont considérables si le sol a été remué par temps humide, si des mottes subsistent; les agents atmosphériques et des façons diverses contribuent à la mise en état. Mais si l'on ne voit pas la possibilité d'une préparation parfaite du sol, il vaut mieux se contenter de labours moins profonds.

Au cours de la période de végétation et jusqu'à la récolte, c'est la considération des besoins de la plante en eau qui permet le mieux de comprendre toute l'importance du travail du sol; si l'eau est assez abondante et si elle circule facilement, la vie de la plante est assurée. Évidemment, cette préoccupation relative à l'eau présente un intérêt très inégal suivant la situation géographique du lieu.

En climat humide, soit par une abondante précipitation bien répartie, soit par un nombre élevé de jours de pluie, soit enfin par la réduction de l'évaporation résultant d'un ciel couvert, la fraîcheur se maintient généralement dans le sol, et la plante n'a pas besoin d'allonger son système radiculaire, elle vient en surface. Il est même possible que l'on soit obligé de se préoccuper d'un excès d'eau lorsque les éléments du sol sont très fins.

En climat plus ou moins sec : hauteur d'eau insuffisante, mauvaise répartition de la pluie, ciel clair, l'approvisionnement en eau domine toute la culture, l'abondance des récoltes est conditionnée par la hauteur d'eau utilisée.

Le travail du sol se présente dans des conditions très différentes d'après ces deux catégories de situations : dans le premier cas, milieu assez humide, on serait tenté de moins porter d'attention à la structure du sol et, au contraire, de chercher à accroître la quantité de récolte par l'apport d'éléments fertilisants. Toutefois, quand on observe ce qui se passe dans la pratique, on constate que les pays qui jouissent de ces conditions générales de milieu comptent parmi les mieux cultivés, l'outillage est important, bien employé, les façons sont multipliées et la terre ne reste pas en repos.

En réfléchissant aux causes profondes qui régissent cette activité ancienne, on peut penser que l'effort principal de l'homme est dirigé contre les mauvaises herbes dont le développement est facilité dans un milieu bien approvisionné en eau et en éléments fertilisants. Les façons sont nombreuses entre les récoltes et les ensemencements ; on est surpris de voir dans le nord de la France, en Belgique par exemple, la hâte avec laquelle les terres sont travaillées dès l'enlèvement des moissons. En outre, les soins d'entretien sont multipliés, on cherche à réserver à la plante cultivée tous les éléments utiles que renferme le sol. Y a-t-il cependant un rapprochement à faire entre le travail du sol et la circulation de l'eau ; la réponse n'est pas douteuse, le travail remarquable dont le sol est l'objet et qui n'atteint pas en général des profondeurs considérables, assure l'obtention d'un grain régulier de terre, d'un milieu extrêmement homogène éminemment favorable à la circulation des liquides nutritifs et au fonctionnement convenable du sol ; il ne faut pas oublier, d'autre part, que la division du sol est favorable à la vie bactérienne dont l'intensité pourrait être un peu ralentie lorsque la température est moins élevée.

Le second cas général est celui des milieux secs ; ici, le problème est d'une netteté remarquable, on ouvre la terre à l'action des agents atmosphériques dès qu'une récolte est faite, on commence ainsi à recueillir les moindres précipitations, mêmes celles qui résultent d'une condensation aux effets si curieux dans les pays dont il s'agit ; puis l'approfondissement du terrain permet de loger toute l'eau des pluies ; ensuite, en attendant la période des semailles, l'année même ou seulement un an après, si l'eau est vraiment déficitaire, toute l'activité consiste à empêcher le déperdition de l'eau. La constitution

d'une couche desséchée isolante en surface assure ce résultat; les façons d'entretien ont aussi pour effet de détruire les moindres herbes adventices qui seraient des causes de gaspillage de l'eau; on est arrivé maintenant dans les pays de dry-farming tels que le nord de l'Afrique à un raffinement magnifique des façons, jusqu'à un nivellement attentif du terrain pour qu'à la faveur d'une dépression ne se forme pas une zone plus humide qui faciliterait le développement d'une mauvaise plante ou irrégulariserait ensuite la répartition de l'eau entre des plantes qu'il faut rationner avec équité.

Entre les situations extrêmes caractérisées par l'eau abondante ou l'eau rare se placent les situations les plus diverses et, fait très remarquable, du moins en France, on pourrait dire que ce sont ces régions dans lesquelles la technique du travail du sol est la moins précise et la plus insuffisante. A l'excuse du cultivateur, on peut invoquer l'irrégularité des saisons qui ne permettent pas de suivre une méthode bien caractérisée; justement, c'est là qu'il faudrait faire les recommandations les plus sévères au sujet de l'amélioration du travail du sol.

En général, dans ces situations intermédiaires, les bons résultats sont obtenus lorsque le travail du sol est plus profond, rapprochement avec les milieux secs, lorsque le nettoiement du sol est parfait, rapprochement avec les milieux humides. La technique varie beaucoup avec la nature des sols, alors que, dans les situations extrêmes, le climat, facteur de la production, a une importance plus grande que le sol. Le travail d'une terre à éléments grossiers ne sera pas le même que celui d'une terre à éléments fins, et l'on attribuera avec raison une importance infiniment plus grande au facteur teneur du sol en humus L'humus devient un correctif précieux des propriétés physiques du sol. donnant de la cohésion par-ci, assouplissant par-là; il est vraiment difficile dans ces cas intermédiaires de devenir un bon agriculteur et maintenir ou même développer les quantités de produits.

Au point de vue strict de la physique des sols, le travail de l'agriculteur est particulièrement intéressant à suivre. En raison même des circonstances météorologiques si variables, la mise en pratique d'un programme est bien délicate; les climats extrêmes seuls donnent de l'assurance à celui qui cherche à faire passer du laboratoire au champ une découverte heureuse sur la structure ou sur les éléments mécaniques du sol. Ailleurs, on est fréquemment le jouet des événements, mais il serait néanmoins fort intéressant de se livrer à une étude approfondie des sols afin d'expliquer les bons résultats ou les insuccès de telle ou telle pratique; l'étude du terrain aurait aussi pour effet de fournir des éléments d'information sur l'amélioration des sols, amélioration qui est en rapport très étroit avec le travail.

Au début de cette communication, on a fait allusion aux conditions économiques du travail du sol; c'est nécessaire, car le travail du sol fait partie de

l'ensemble des frais de culture qui caractérisent telle ou telle production, un milieu étant donné. En vue d'assurer le développement d'une plante cultivée, il s'agit moins de suivre une technique comprenant un certain nombre d'opérations, que de tendre vers un but, c'est-à-dire de réaliser un état donné variable d'ailleurs suivant les plantes, les sols, les saisons, etc.

Le travail du sol procède de la mise en œuvre d'instruments variés auxquels il faut demander un effet précis; le but est atteint avec plus ou moins de facilité suivant la nature et la structure du sol, de là un matériel aisément standardisé dans les pays aux aspects peu variés, et, au contraire, un matériel aux formes nécessairement nuancées dans les pays aux sols variés; la France aux aspects si multiples a toujours offert à ses artisans un champ d'action étendu pour la diversité des machines qui travaillent la terre.

Mais l'art de se servir d'un instrument nous ramène aux prouesses du laboureur qui sait prendre sa terre et s'efforce de ne pas la gâter; les auteurs romains ont tout écrit sur la terre gâtée, la notion d'une terre, dont les propriétés physiques sont altérées par un travail intempestif, a subi victorieusement l'épreuve des siècles, et, aujourd'hui encore, il faut prêter une grande attention au conditionnement du sol que l'on travaille, je dirais volontiers, la terre doit être respectée.

L'homme habile à travailler la terre met dans son jeu les agents atmosphériques dont l'intervention est très puissante. Qu'il s'agisse d'un labour, d'un simple hersage ou d'une façon au scarificateur, on n'a pas le droit de travailler n'importe quand, sauf lorsqu'un sol, que j'appellerai indifférent, donne une large latitude.

Ainsi, pour un but à atteindre, le travail du sol revêt les formes les plus diverses, il est d'une simplicité remarquable dans un lieu, extrêmement compliqué ailleurs; c'est au praticien à combiner ses assolements pour disposer du temps nécessaire pour bien travailler avec le minimum de frais: à régler les successions de culture pour rendre possible l'application de telle ou telle façon: il ira jusqu'à la jachère nue dans les terres difficiles pour être certain de réussir une préparation qui serait fatalement incomplète s'il disposait d'un temps trop court.

Le travail du sol est à la base de toute production rationnelle; les exploitations les meilleures sont généralement celles où l'on sait le mieux travailler. Bien pénétré de cette notion, connaissant sa terre, l'agriculteur n'est pas l'ennemi des vues nouvelles concernant le travail de la terre. La preuve en est fournie lorsqu'on constate la part relativement moins grande que prend la charrue dans le cycle des opérations. Le travail a été surtout modifié par l'emploi d'instruments nouveaux permettant un émiettement plus facile, la réduction des mottes, etc.; parallèlement on a construit des machines pour travailler plus ou moins profondément; une innovation remarquable se rapporte

aux instruments à disques dont la généralisation marque un progrès sensible.

Les vues les plus modernes se rapportent à la notion de travail du sol par couches horizontales successives, substitution au retournement effectué par la charrue, et à celle d'une rupture des couches profondes indépendamment du labour. Les discussions dont ces méthodes ont été l'objet, les réalisations variées qui ont été rapportées sont encore des preuves de l'intérêt que l'on attache au travail du sol. Il est donc logique d'établir une relation entre les connaissances acquises par la physique du sol et l'exécution même des travaux; ceux qui travaillent la terre expriment le vœu que les savants leur apportent les éléments d'information en vue de réaliser un meilleur travail avec des frais moins élevés.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MECHANICAL COMPOSITION OF THE SOIL AND THE ESTIMATE OF TEXTURE IN THE FIELD,

BY

J. A. PRESCOTT, J. K. TAYLOR AND T. J. MARSHALL*,

WAITE INSTITUTE, GLEN OSMOND, SOUTH AUSTRALIA.

The estimate of soil texture in the field during the course of soil surveys provides one of the principal factors in soil classification, and while experienced surveyors working in frequent consultation can generally secure excellent agreement in their individual estimates, it is very desirable that correlation with mechanical analyses should be established, not only to provide a set of permanent reference standards, but to enable standards or conventions established by one group of workers to be related to those of any other group.

Since other soil factors besides the actual distribution of particle dimensions are concerned in field estimates of texture, complete correlation with mechanical composition is hardly to be expected, but in mineral soils containing low amounts of organic matter, a useful relationship has frequently been found to exist.

Whitney (1911) first defined the texture classes of the United States' surveys in terms of the relative proportions of sand, silt and clay by the examination of data secured from over eight thousand samples. This system was further developed by Davis and Bennett (1927) and the extensive experience of the United States' surveyors summarised as a triangular diagram which is illustrated in Fig. 2*a*. This diagram is naturally based on the particle dimensions standardised in the United States and one of the major problems which the authors have attempted to solve is the transfer of these texture classes to the international system of soil particles without appreciably modifying the natural estimate of texture in the field.

A second system developed by Vageler and Alten (1931) is highly schematic

(*) From the Division of Soils, Commonwealth Council for Scientific and Industrial Research.

and has no basis on field experience, overlooking the fact that most physical properties of a soil are a function of the colloid fraction and than any natural subdivision of the mechanical composition triangle may be expected to be in bands parallel to the clay base.

In the course of soil surveys in Australia since 1927, field estimates of texture, based on the behaviour of the soil under the auger and during hand working have been regularly checked and corrected from mechanical analysis; the first standard of reference being that obtained by the actual experience of one of the authors (J. K. T.) with field parties in California. From this experience, working diagrams have been prepared and corrected from time to time. The present investigation was begun when it was felt that our experience was sufficiently mature for the cross correlation to be attempted between texture classes and the mechanical composition according to both the United States' and international systems of particle dimensions.

The final relationship which was tentatively adopted and which is shown diagrammatically in Fig. 2*c* is based on material from two sources. One, the relationship between our own field descriptions and the corresponding mechanical analyses and the second the interpolation from the United States' triangle to the international triangle with the assistance of mechanical analyses carried out by both systems and from theoretical considerations.

The mechanical composition of soils in each texture class.

To secure reliable interpretation in this analysis, the soil samples used were restricted to those which had been collected during 1930, 1931 and 1932; these samples related to survey work that had been carried out in the irrigation areas of South Australia, New South Wales and Victoria — soils belonging to the Mallee zonal group, frequently with solonised subsoils. In addition, other South Australian samples from the Hundreds of Kuitpo, Willalooka and Laffer were extensively used. This latter group of samples included soils mainly podsolic in character. None of the soils were rich in organic matter, but a proportion of the irrigated soils showed high values for calcium carbonate. In all cases the field textures had been determined by one or other of the authors (J. K. T. or T. J. M.).

The soils were divided into eight texture groups and the mechanical analysis for each soil calculated to Clay + Silt + Sand = 100 per cent, the sand group including the sum of coarse sand and fine sand.

The mechanical composition expressed in this way was then plotted in the triangular diagram. The results of this plotting are illustrated in Fig. 1. By adjusting the boundaries between the most frequent distribution for each

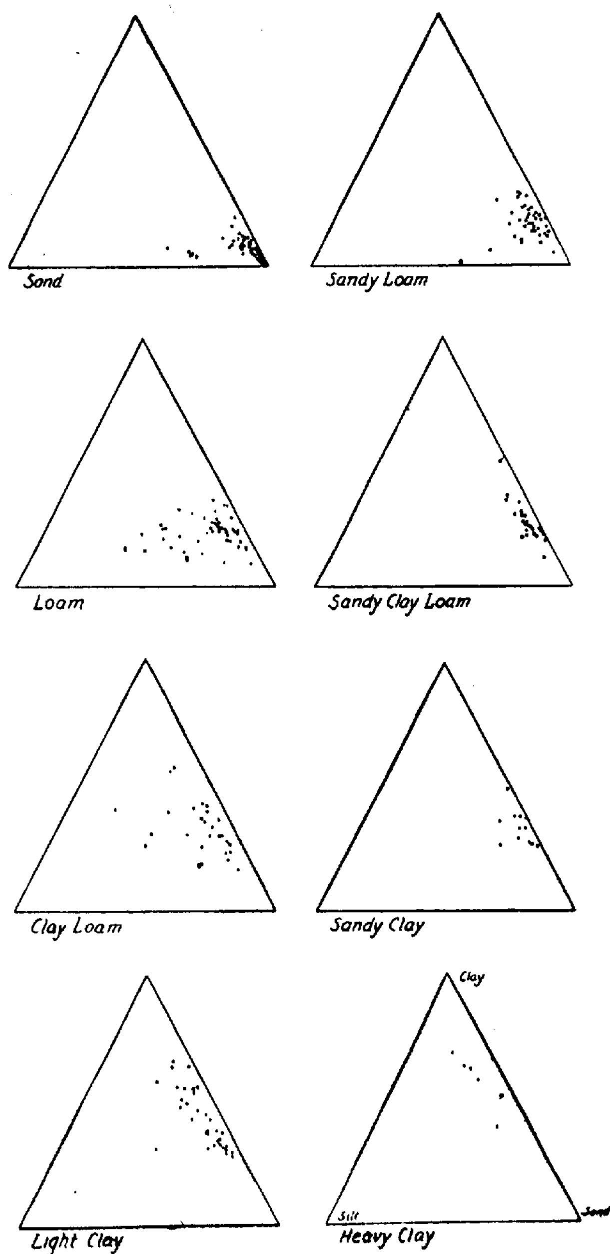


Fig. 1.

Illustrating the plotting within mechanical composition triangles (international basis) of soils estimated in the field to have given textures.

soil class, it would have been possible at this stage to subdivide a triangle based on the international particle dimensions according to the soil texture classes, but it was obviously desirable to secure correlation with the large store of American experience available in the diagram of Davis and Bennett.

The interpolation from the United States system to the International system.

It was possible to secure interpolation from the American system to one based on the international units along two lines. In the first place a series of hypothetical summation curves was drawn representing the probable mech-

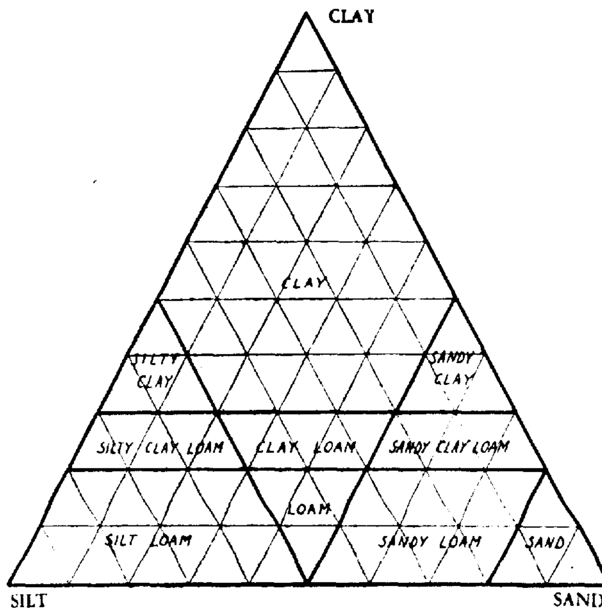


Fig. 2 a.
The United States' relationship between mechanical composition and texture classes (Davis and Bennett), Clay : < 0.005 mm, Silt : 0.005 – 0.05 mm, Sand : 0.05 – 2 mm.

anical composition of points selected along the boundary lines between the soil classes in the diagram of Davis and Bennett. In the second place it was possible to select a number of soils representative of each soil texture class and to analyse these according to a combined sieve and pipette method using both United States' and international standards. In a few cases other soils were available, where the field texture was known and detailed summation

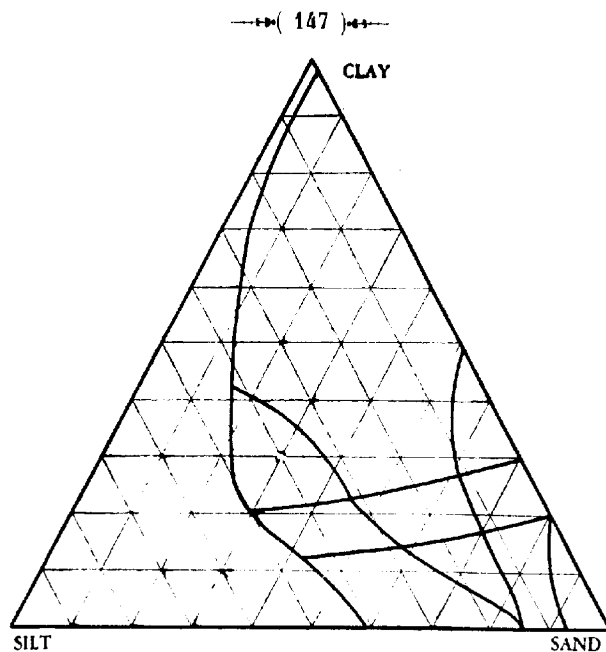


Fig. 2 *b*.
Showing the interpolation of fig. 2 *a* into the international diagram.

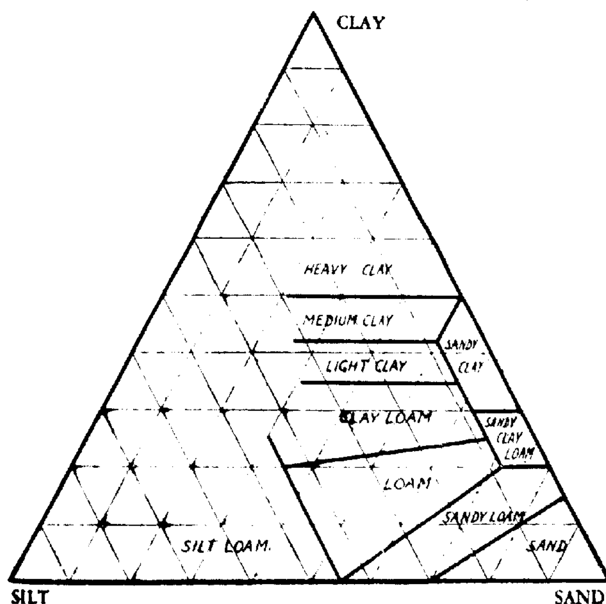


Fig. 2 *c*.
Suggested relationship between texture classes and mechanical composition according to international standards.

TABLE 1. — MECHANICAL ANALYSES OF SOILS TYPICAL OF EACH TEXTURE CLASS.

Soil No	2552*	2562	2598	2604*	2405*	2416*	2651	2738*	2749*	2754*	2787*	2837	2910*	2911	2912*
Field description	Light clay.	Sandy clay loam.	Clay.	Clay.	Sand.	Sandy clay.	Loam.	Sandy loam.	Clay loam.	Loam.	Med. clay.	Loam.	Sandy loam.	Loam.	Sandy clay loam.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Loss on ignition	4.1	3.0	0.5	4.4	2.0	5.0	3.9	2.0	4.9	3.5	4.5	4.6	4.2	5.2	5.3
Loss on acid treatment	1.0	0.9	0.9	1.2	0.5	0.9	0.7	1.0	2.0	1.3	3.4	1.8	4.6	5.3	6.4
International units :															
Coarse sand (2–0.2 mm)	6.7	26.3	3.4	3.3	32.9	19.0	5.2	4.5	7.9	28.5	1.1	24.3	37.0	27.5	26.6
Fine sand (0.2–0.02 mm)	44.0	44.4	31.0	39.4	51.7	43.2	55.7	68.0	37.4	34.9	35.0	31.4	33.9	30.1	32.7
Silt (0.02–0.002 mm)	3.5	1.1	0.0	2.2	1.9	2.6	1.6	8.3	16.0	8.3	13.8	5.1	3.7	2.5	3.6
Clay (0.002 mm)	34.7	21.8	52.9	44.6	10.8	31.1	30.5	16.4	26.6	23.2	41.4	33.8	16.0	30.5	25.6
Moisture	11.1	5.1	11.8	10.0	0.9	4.0	5.9	2.5	8.1	4.5	7.0	3.6	2.7	3.5	3.7
United States' units :															
Fine gravel (2–1 mm)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.1	4.4	0.0	2.4	1.3	1.9	1.8
Coarse sand (1.0–0.5 mm)	0.4	2.6	0.1	0.2	2.1	4.2	0.3	0.1	0.6	7.2	0.1	6.1	3.2	2.9	2.7
Medium sand (0.50–0.25 mm)	2.0	11.9	0.8	0.7	15.9	5.7	1.4	0.4	3.4	7.3	0.2	6.5	9.8	7.1	5.9
Fine sand (0.25–0.10 mm)	20.7	41.0	17.3	18.7	47.0	25.4	29.8	41.6	20.8	27.4	6.8	24.5	46.8	36.7	39.4
Very fine sand (0.10–0.05 mm)	29.8	13.8	14.0	21.5	15.1	21.3	26.6	19.1	15.9	11.7	14.0	9.8	8.9	8.3	8.4
Silt (0.050–0.005 mm)	6.7	2.7	2.7	1.6	6.5	6.0	4.3	16.7	20.9	11.2	22.3	8.8	1.9	2.9	4.6
Clay (0.005 mm)	36.6	20.8	52.7	46.2	11.3	30.7	31.6	18.7	30.4	26.3	47.3	37.1	18.2	31.7	27.6
Moisture	10.6	4.7	11.4	9.5	1.1	4.1	5.3	2.6	8.1	4.5	7.0	3.9	2.7	3.5	3.7

* *Used for tetrahedron of fig. 3.*

TABLE 1 (contd.). — Mechanical Analyses of Soils Typical of each Texture Class.

Soil No.	2926*	1363*	1919	1920*	1922*	1927*	2006*	2024*	2128*	2130*	2218*	2231	2258*	2392*
Field description	Sand.	Loam	Heavy clay.	Loam	Clay.	Loam.	Loam.	Clay loam.	Med. clay.	Light clay.	Sandy loam.	Clay.	Sandy clay.	Sandy loam.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Loss on ignition	2.1	6.2	4.2	6.2	10.5	3.7	5.9	7.1	5.5	7.7	1.8	7.2	6.9	2.7
Loss on acid treatment	0.8	1.0	0.3	0.7	1.2	0.3	0.3	0.6	4.9	11.4	1.1	1.6	2.0	0.6
International units :														
Coarse sand (2–0.2 mm)	47.6	9.9	12.1	20.8	3.2	4.6	2.2	5.7	1.3	3.1	17.2	2.9	34.4	29.0
Fine sand (0.2–0.02 mm)	37.9	47.2	34.8	38.5	12.2	53.7	30.1	30.7	31.1	33.4	62.1	45.5	16.2	47.4
Silt (0.02–0.002 mm)	2.2	17.9	12.8	14.1	13.2	26.7	46.7	30.6	10.7	9.1	12.7	16.4	8.5	4.9
Clay (0.002 mm)	7.7	18.0	36.3	22.7	63.2	11.9	15.1	30.2	42.1	36.2	8.5	27.3	31.0	15.3
Moisture	1.0	2.6	3.9	1.6	7.9	1.1	2.5	2.0	10.8	8.4	0.5	3.8	3.4	1.1
United States' units :														
Fine gravel (2–1 mm)	1.0	0.0	0.3	10.9	0.6	0.4	0.1	1.0	0.0	0.0	1.3	0.1	2.4	0.4
Coarse sand (1.0–0.5 mm)	6.2	0.4	1.2	4.3	0.6	0.9	0.4	1.1	0.1	0.4	4.6	0.3	8.2	4.0
Medium sand (0.50–0.25 mm)	15.0	3.4	5.8	3.6	0.8	1.3	0.6	1.3	0.5	1.2	4.1	0.8	15.2	11.5
Fine sand (0.25–0.10 mm)	48.3	25.8	14.7	7.7	1.8	3.6	1.2	2.2	3.1	5.9	10.7	9.5	19.7	37.2
Very fine sand (0.10–0.05 mm)	13.9	9.5	10.0	12.3	2.6	9.5	3.6	4.2	8.8	14.6	25.7	19.2	4.5	16.4
Silt (0.050–0.005 mm)	4.0	30.1	22.7	30.7	17.2	62.8	63.6	47.8	23.9	17.4	39.4	29.9	8.7	10.0
Clay (0.005 mm)	8.8	22.4	41.7	26.1	70.6	17.7	25.1	36.8	47.0	41.9	11.8	32.6	34.7	16.8
Moisture	1.0	2.7	3.7	2.2	7.9	1.0	2.3	2.1	10.0	8.6	0.4	3.2	3.6	1.7

* Used for tetrahedron of fig. 3.

curves were available from which the mechanical composition according to the United States' units could readily be read off by interpolation. This group of soils was selected for low content of calcium carbonate (mainly less than 2 o/o) and the analyses which included acid and peroxide treatment would not be very different from those carried out by the official method of the United States.

The actual analyses of the twenty nine selected soils are given in Table 1. In the case of the additional soils, fourteen in number, where the mechanical composition was interpolated to the United States, these values are given in Table 2.

The composition of each of these 43 soils was then plotted in both triangles and the displacement caused by transference from one diagram to the other was noted.

In this way it was possible to secure a projection of the United States, diagram into the international triangle with the result illustrated in Fig. 2*b*.

The agreement between the groupings of Fig. 1 and those in Fig. 2*b* is reasonable in most cases and quite good so far as the sands, sandy loams, sandy clay loams and sandy clays are concerned. For the loams and clay loams there is considerable divergence, the American loams and clay loams being much lighter soils than the Australian soils of the same name.

Fig. 2*c* which represents a tentative textural classification on the basis of the international units of mechanical composition is therefore a compromise with respect to the above points and may involve a re-adjustment of our field interpretation of texture, particularly as the greater part of our experience has been with soils of low silt content.

The effect on texture estimates of the relative of fine sand and coarse sand.

The use of the two dimensional diagram is based essentially on the fact that the principal factor controlling texture is the proportion of the clay fraction, most of the obvious physical properties and such quantitative single values as moisture equivalent and sticky point being proportional to the clay content. The method of tetrahedral representation in Fig. 3 (Prescott, 1929) could only be adopted for a limited range of well selected samples, and could not at the present stage supply sufficient statistical evidence for an estimate of the contribution of the relative proportions of coarse sand and fine sand.

In order to ascertain the possible influence of this factor on the field estimation of texture, the composition of all samples falling within the sandy loam, loam, sandy clay loam and clay loam classes was therefore investigated by plotting on triangular diagrams where the coarse sand and fine sand percen-

TABLE 2. — Mechanical Analyses of selected soils
United States' values calculated by interpolation from detailed summation curves.
All values calculated to 100 per cent of mineral fractionnement.

Soil No.	U 19*	U 61	U 115	90 A	101	843	906	907	915	921	1005	1007	1011	1077
Field Texture	Loam.	Loam.	.....	.....	.....	Light clay.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	Clay.
International units :														
Coarse sand	3	10	8	24	7	5	1	0	6	2	11	7	9	0
Fine sand	44	55	46	52	23	20	7	5	17	17	26	19	31	3
Silt	33	21	27	12	9	15	10	8	13	27	15	10	22	5
Clay	20	14	19	12	61	60	82	87	64	54	48	64	38	92
United States' units :														
Fine gravel	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0.5	0	0	2	0
Coarse sand	1	3	2	1	2	1	0.5	0	1	1	1	1	4	0
Medium sand	1	4	3	11	3	2	0.5	0	3	0.5	7	4	3	0
Fine sand	5	7	6	54	5	10	0.5	0.5	7	3	14	10	3	1
Very fine sand	14	29	15	8	12	7	2.5	2	5	5	7	6	11	1
Silt	49	35	46	10	13	13	10	7.5	14	25	17	11	32	2
Clay	29	20	27	17	64	67	86	90	70	65	54	68	45	96

* Used for tetrahedron of fig. 3.

tages were indicated at each point. In most cases there was a tendency toward an underestimate of heaviness in texture where coarse sand predominated

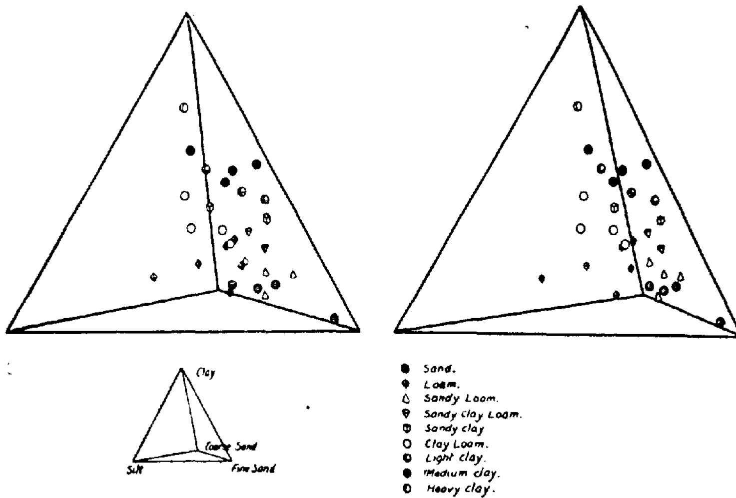


Fig. 3.

Stereoscopic pair of diagrams showing the plotting of typical soils representing each texture class within the tetrahedron of mechanical composition (international basis).

with a corresponding overestimate where fine sand predominated. In only one case however, was this reasonably significant, that of the sandy loam group, the details of which are given below.

TABLE 3.

Effect of the relative proportions of fine sand and coarse sand on the estimate of texture in the sandy loam class.

	NO. OF SAMPLES.	MEAN VALUE FOR COARSE SAND.	MEAN VALUE FOR FINE SAND.	MEAN OF INDIVIDUAL RATIOS. (Coarse sand / Fine sand).	STANDARD DEVIATION.
		o/o	o/o		
Heaviness under estimated	10	35.8	32.6	1.24	0.64
Texture correctly estimated	31	34.3	42.5	0.90	0.45
Heaviness overestimated	10	32.0	52.9	0.82	0.71

It is evident that further work is required, before the tetrahedron representing the mechanical composition of the soil can be subdivided according to texture groups.

The occurence of silt classes.

It will be observed that the interpolation of the United States' triangle into the international diagram leaves a considerable proportion of this latter empty. When all the data available in our records are plotted, the silt corner of the diagram remains equally empty.

While a large proportion of the soils examined by us have low silt contents there is reason to believe that soils containing more than 50 o/o of silt are of very rare occurrence. Thus a cursory examination of analyses published in the annual reports of the French Ministry of Agriculture reveals a similar state of affairs, no soil containing more than 37 o/o of silt. This fact is in all probability a natural consequence of the adoption of the value 0.002 mm for the upper limit for the clay fraction which enables the soil to be treated as a mixture of colloid + non colloid. An examination of most summation curves for soils reveals the fact that two separate size distributions are involved, one with its modal value in the colloid fraction and the second with a modal value usually in the fine sand fraction, the silt value being in consequence usually low. A third size distribution has occasionally been noted in soils containing a gravel fraction.

SUMMARY.

From the experience gained during recent soil surveys in Australia, a relationship between estimates of texture in the field and the mechanical composition (international standards) of mineral soils has been established. This relationship has been correlated with the system developed by workers in the United States.

REFERENCES.

M. Whitney, *U. S. Dept. Agric. Bur. Soils* (*Bull.*, 78, 1911).
R. O. E. Davis and H. H. Bennett, *U. S. Dept. Agric.* (*Circ.*, 419, 1927).
P. Vageler and F. Alten, *Zeits. Pflanz. Dung* (*A 21*, 323, 1931).
J. A. Prescott, *J. Counc. Sci. Ind. Res.* (Australia) (2, 112, 1919).

THE FIELD DESCRIPTION
OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS,

BY

E. C. TOMMERUP,
DUNLOP PLANTATIONS, MALACCA.

GENERAL.

One of the urgent needs of the soil surveyor is a code of reference whereby he may describe his field observations on the colour, feel, and appearance of soils in definite terms which are readily linked with more precise measurements made on laboratory samples, and which may be understood by others without actually seeing the soils. The methods set out below have been successfully used for some time and are submitted as a basis for discussion and suggested adoption by the International Society. They are in a large measure an extension of the U. S. A. Bureau of Soils methods adapted to International requirements. (Cf. C. F. Shaw : A Glossary of Soil Terms, Amer. Soil Survey Assoc. Bull. IX, 1928, pp. 23-58.) Once such a system is adopted by British and Continental workers, the field descriptions could be carefully compared in the laboratory by means of clay analyses, the soil pachimeter, and the methods of Atterberg, Kachinsky, Bouyoucos, Baver, Bodman, Keen, Coutts, Russell, etc., and the system gradually improved so as to relate field and laboratory data with variations in soil fertility.

Colour.

The colours of soils when used in conjunction with other information are frequently indices to fertility and may readily be used for demarcating soil boundaries. The rotating disc is probably the most scientifically accurate colour gauge, but it is not available to the average field worker. The Colour Atlases of Ostwald, Ridgeway, or Winsor and Newton contain a range of colours which is greatly in excess of the requirements of the soil surveyor. They are also too costly and contain too many complicated names to be regularly used. Nevertheless, a selection of suitable simple colours : e. g. Ridgeway's Buffy brown, Antimony yellow, Chocolate, Creamy, Morocco red, Dull grey, Hazel,

etc., can be made and a small working atlas constructed which is of considerable value in the field.

It is suggested that a small Soil Colour Atlas might be published containing a useful selection of shades commonly seen in soils when in their natural state of moisture. It may be desirable that soil colours should be defined for the average moisture content at which normal crop growth occurs in the particular soil region under description. The colours selected might be checked against the rotating disc and given a series of simple descriptive names as well as the numbers used by Hutton or Nicherson (Am. Soil Sur. Ass. Bull. XIII, pp. 179-181).

Soil feel and appearance.

It is suggested that the accompanying definitions of Texture, Consistency and Structure in soils be adopted by the International Society for field description. It is considered that these are distinct properties and that they should be separately delineated, rather than grouped under the general term «texture» as is frequently done by leading soil workers.

Soil textural grades.

Soil Texture is a term indicating the relative quantities of each of the standard grain size particles (sand, silt and clay) constituting the soil.

Twenty textural grades are demarcated by the U. S. A. Bureau of Soils (Circular 419) based on the U. S. A. convention of soil grain sizes as used in their Mechanical Analyses. G.W. Robinson (J. Agric. Science, 1924, 14, p. 626) has show that Mechanical Analyses can be expressed as logarithmic summation curves, and Prescott, Piper and Poole (C.S.I.R. Australia Pamphlets 13 et 8) have shown that mechanical analyses expressed in one convention of grain sizes can be transposed to another by interpolation along the log. summation curves. Following out these principles, I have plotted the limiting values of the U. S. A. soil texture grades, taking especial care to obtain the correct shape for the clayey grades, and interpolated from the curves the corresponding limiting values for the International convention of grain sizes. These were checked by plotting completely specific American, British and Australian mechanical analyses, which obviates the possibilities of ambiguous cases occurring, particularly as to the point where steep curves cut the logarithmic ordinate for maximum velocity of International silt (2.57). In this way a set of 13 texture grades based on International grain sizes has been drawn up; the relationship of these to the American textures is set out in the

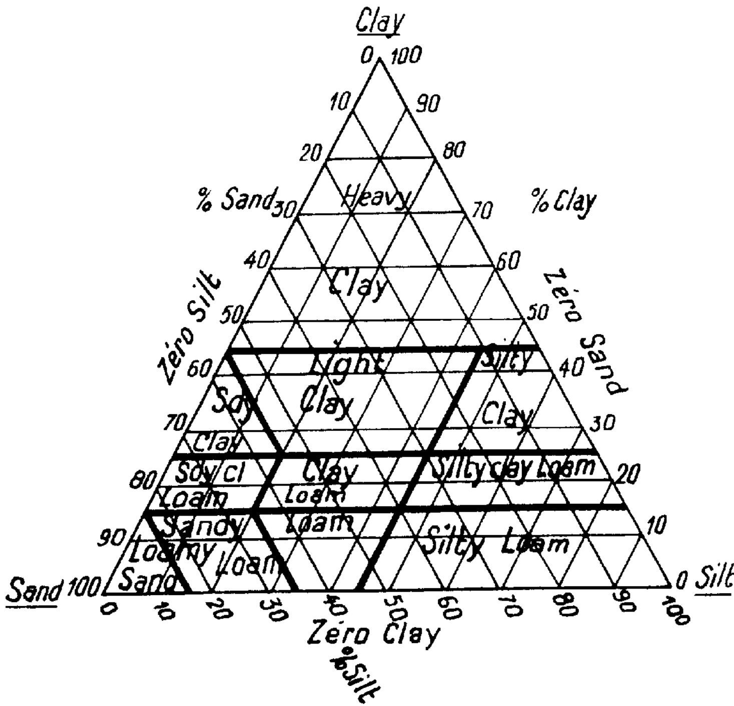
accompanying table. The number of sandy textures is reduced and two degrees of clayeyness are delimited, these are advantages when the system is used in field operation. An equilateral triangle diagram for expressing the principal textures is also appended.

It should be noticed that although texture is determined by the feel and appearance of the soil in the field, it is not a term covering the consistency or the structure of the soil, which are distinct properties defined as follows : Soil structure is a term expressing the arrangement of the individual aggregates which make up the soil mass. Soil consistence is a term expressing the degree of cohesion of the soil and the resistance opposed to forces tending to deform the soil aggregates when the soil is sufficiently moist to allow of normal crop growth. These three soil properties are distinct, though they are more or less dependent upon one another, and each has its own bearing on the fertility of the soil.

TEXTURE CLASSIFICATION DEFINITIONS.

AMERICAN EQUIVALENT.	INTERNATIONAL TEXTURES (essential data only).
1. Coarse sand 2. Sand 3. Loamy coarse sand 4. Loamy sand	Soils with less than 15 p. 100 clay. 1. *Loamy coarse sand* below 15 p. 100 silt and clay.
5. Fine sand 6. Very fine sand 7. Loamy fine sand 8. Loamy very fine sand	2. *Loamy fine sand* below 15 p. 100 silt and clay. Over 40 p. 100 fine sand, below 45 p. 100 coarse sand.
9. Coarse sandy loam 10. Sandy loam	3. *Coarse sandy loam* 15-35 p. 100 silt and clay. Below 40 p. 100 fine sand, below over 45 p. 100 coarse sand.
11. Fine sandy loam 12. Very fine sandy loam	4. *Fine sandy loam* 15-35 p. 100 silt and clay over 45 p. 100 fine sand, below 45 p. 100 coarse sand.
13. Loam	5. *Loam* over 35 p. 100 silt and clay, below 45 p. 100 silt.
14. Silt loam	6. *Silt Loam* over 35 p. 100 silt and clay, 45 p. 100 silt. *Soils with 15-25 p. 100 clay.*
15. Sandy clay loam	7. *Sandy clay loam* below 20 p. 100 silt, below 55 p. 100 sand.

16. Clay loam...........................	8. *Clay loam* below 45 p. 100 silt, below 35 p. 100 sand.
17. Silty clay loam.....................	9. *Silty clay loam* over 45 p. 100 silt. *Soils with 25-45 p. 100 clay.*
18. Sandy clay..................	10. *Sandy clay* below 20 p. 100 silt over 55 p. 100 sand.
19. Silty clay..........................	11. *Silty clay* over 45 p. 100 silt.
20. Clay	12. *Light clay* below 45 p. 100 silt below, 55 p. 100 sand. *Soils with over 45 p. 100 clay.* 13. *Heavy clay.*



Main Soil Texture Grades in relation to o/o composition of Sand, Silt and Clay, International grain sizes.

DEFINITION AND TRANSLATION OF RHEOLOGICAL TERMS USED IN SOIL PHYSICS,

BY

G. W. SCOTT BLAIR,

SOIL PHYSICS DEPARTMENT, ROTHAMSTED EXPERIMENTAL STATION.
HARPENDEN, ENGLAND.

GENERAL INTRODUCTION.

It has long been recognized that a standardization of the meaning of words used in the description of the physical properties of soils, and especially of the correct translation of these words from one language into another is essential to the satisfactory development of soil science. The issue is, however, further complicated by the fact that many of the terms used are also applied to materials other than soil, and it is therefore most desirable that definitions and translations should agree as closely as possible with those adopted by physicists working in other fields. This is especially true of properties concerned with «the science of the flow of matter»*, a science which has been called «Rheology» by the (International) Society of that name. The definition and translation of «rheological» terms in such a way as to satisfy workers in many countries, and for many kinds of material, is a specialized task, and it is unlikely that those best qualified to attempt it, should also, in general, be suited to propose definitions in other branches of soil physics. Other textural nomenclature, for example, is also highly technical, and requires special treatment. It therefore seems advisable to consider the definition and translation of rheological terms as a problem to be faced separately from similar considerations in other branches of soil physics, at any rate in the preliminary stages.

This narrowing of the terms of reference leaves us with two essential problems : (1) to find exact definitions for rheological terms, of which the following may be taken as examples : Plasticity, Elasticity, Viscosity, Fluidity, Consis-

* «Flow» is generally taken to include all deformations, recoverable as well as permanent, so that elastic properties are included.

tency, Yield-value, Shearing-strength, Mobility, Stiffness, Stickiness, Structure-viscosity and Structure-turbulence, Cohesion and Adhesion, Capillarity, Coefficient of viscous traction, Pseudo-viscosity and Surface friction, etc. etc.; (2) to compile a standard lexicon, so that such terms may be translated from one language to another with as little change of meaning as possible.

As a first stage, and for the purposes of this report, it is proposed to consider only the English, French, German and Russian languages, since the greater part of this work has so far been published in one or other of these.

With reference to problem 1, some progress has already been made, lists of definitions having been put forward independently by Shaw (1) at the First International Congress (though this list contains comparatively few rheological terms), and by Bingham (2), of the Society of Rheology. These definitions are, however, not only incomplete, but there are a number of cases in which the two sets are contradictory, and others where the definitions given are open to serious criticism. (Compare especially « stiffness »). A further aspect of the second problem concerns the use of two words in the same language having slightly different or synonymous significance. For example, in English, the distinction between « coefficient of viscous traction »* (as used by Trouton (3) and « viscosity » is important; whereas, in German, « Innere Reibung » and « Viskosität » would seem to be synonymous. A soil worker with a limited knowledge of Russian may well puzzle over the alternative use of « Липкость », and « Клейкость » for « stickiness » (vide infra).

These problems are however much older than the present generation of soil scientists — as early as the XVIth Century we find Palissy (4) writing « Il seroit beaucoup plus conuenable de la nommer terre pasteuse que non pas visqueuse, parce que la farine à faire la paste se destrempe auec l'eau comme terre d'argile », and again : — « S'ils appelloient lesdites terres pasteuses, ils parleroyent beaucoup mieux, et diroyent vérité; il les faut donc appeler terres pateuses, et non point grasses ou visqueuses ».

To illustrate the need for an immediate investigation on these problems, it is proposed to discuss, as examples, two rheological terms in common use in English — « plasticity » and « stickiness ».

---

* Note that Haines (20) is mistaken in confusing coefficient of viscous traction with the slope of the flow-curve. The coefficient of viscous traction is, in fact, the ratio of the tensile stress to the rate of change of strain, and is therefore equal to three times the viscosity.

PLASTICITY.

The word Plasticity (Plasticité, Plastizität, пластичность) is a good example of a term affecting problem 1, though the meaning, while not clearly defined, does not seem to differ to any appreciable extent for the different languages, so that problem 2 does not arise in this case.

The word comes from the Greek πλαστικός, Latin «plasticus»; meaning, in general, mouldable or deformable. As early as 1844 Brongniart (5), in his book* «Traité des arts céramiques», wrote of plasticity «On a souvent parlé de cette propriété, on semble la connaître, mais on n'en a qu'une vague idée», and again «Plasticité est la propriété qu'a une masse molle de recevoir facilement toute sorte de formes, de s'aplatir sans se gercer, de s'allonger en cylindre délié sans se rompre». Since that date many more exact definitions have been proposed, but for convenience in the present discussion, and in view of the etymological meaning of the word, we will take that of Wilson (6) as being the most suitable: «Plasticity is that property which enables a material to be deformed continuously and permanently without rupture during the application of a force which exceeds the yield-value of the material». Shaw's definition(1) that a plastic soil is one which is «readily deformed without rupture» is a trifle ambiguous, since it is not clear whether the word «readily» refers to the magnitude of the stress required to deform, or to the amount of deformation possible, or to both these factors, which are, in themselves, quite distinct.

Although Wilson's definition has been fairly generally accepted, there have been two distinct and equally confusing misinterpretations in its application to soil work. The first arose as a result of some interesting experiments of Atterberg (7) who found that in the case of a limited number of clays, there was a correlation between the plasticity (in the true sense) and the difference between two moisture contents at which the material showed certain definite physical characteristics. This difference, he very reasonably called the «Plasticity number» on account of its apparent connection with plasticity, but although Bowmaker (8) bears out the correlation with yet a few more materials, it seems very doubtful if the relationship is general [vide Scott Blair (9)]. Much work has now been published on the measurement of plasticity numbers — especially note *Antonova (10), Baver (11), Russel (12), Russel and Wehr (13) and Till (14) — but unfortunately, in most cases (though

* This is a most interesting book throughout, and is well worth the attention of soil physicists.

there are exceptions) authors have used the words «plasticity» and «plasticity number» in such a way to imply that the two are definitely identical, rather than that there is, in *certain cases*, a *good correlation* between them. This has led to much confusion of thought, and if such a habit were to become general, all distinction between the colloidal properties of soil would tend to disappear. There are many general correlations between plasticity and other physical properties of clay : — Time of slaking [Bancroft and Jenks (15)], dye absorption (many authors); relation between deformation and moisture content [Pfefferkorn (16)], etc., etc.*. Russel (12) shows an excellent correlation between plasticity number and clay content, but it would be most unsatisfactory to refer to the clay content of a soil as its «plasticity»!

Russel says: «The whole field of consistency constants in soils needs elucidation. Until that is done, the value of the Atterberg constants, as the writer sees it, is questionable». As Mellor (17) also points out, it is most misleading to *identify* other physical properties with plasticity because they happen to be correlated in certain cases with it, or to use the same word indescriminately for both. The use of such words as «Plasticity number» (Atterberg) or «Flow-plasticity» [Scott, Blair and Scott Blair and Yates (18)], is attended by certain dangers, but seems justified if the distinction is maintained. It is precisely this sort of question on which the Ist Commission should develop opinions for the guidance of authors.

Meanwhile, confusion has become serious in another direction. Bingham pointed out in various papers, culminating in his text-book «Fluidity and Plasticity» (19), that when a plastic material is caused to flow under stress, its resistance to flow may be said to be of two types — the first he called a «friction» which corresponds to the stress required to start appreciable flow, and the second, a «mobility», which corresponds to the reciprocal of viscosity when the first term is subtracted from the total applied stress. Now it is clear that for a material to be plastic, the mobility must be high enough for stresses to be dissipated rapidly, so as to prevent rupture, and yet the initial «friction» (or yield-value as Bingham called it) must be high enough to enable the deformed mass to retain its shape under the force of gravity. Bingham, therefore, stated that «friction and mobility go to make up the plasticity of a material».

---

* It is clear here, as in many other sections of this report, that the bibliography is quite incomplete. It is merely intended to give examples to illustrate the line of thought, and there is no suggestion that the papers quoted are fully representative, or necessarily the most significant to the subject under discussion. This does not seem to the reporter to be an appropriate stage to attempt a complete bibliography of the subject.

This statement has been used, however, to mean that plasticity is to be measured simply by the direct relationship between mobility and yield-value*, thus confusing plasticity with the generally accepted meaning of consistency. Soil workers have, very naturally, tended to take this at its face value. Thus Haines (20) says «The plasticity will be defined by two constants, one representing the maximum stress... to which the material will react as a rigid body, and the other... indicating the behaviour under stresses large enough to produce flow**.»

When it became apparent that plasticity could not be measured as simply as this, much confusion arose. Wilson (22) states that plasticity can be measured comparatively by arranging concentrations such that the materials are identical with respect to one of these constants, the other then defining the relative plasticity. Wilson and Hall*** (23), although giving data showing an agreement in order, for five or six clays with reference to plasticity and yield-value at constant mobility, are so alive to the dangers of generalization as to suggest that «the term (plasticity) be entirely dropped when referring to the physical properties of the slips». Bleininger (24) develops the same ideas, and is careful to speak of «plastic properties» rather than «plasticity». Cunningham (25) claims that plasticity depends on the variation of consistency with pressure, and Scott Blair (18) shows that for certain ceramic clays, plasticity does not correlate with any simple relation between Bingham's two constants, but can be determined empirically by a much more complex relation.

Meanwhile, authors whose chief interest lies in the utilization rather than the definition of plasticity, continue to use the word to mean whichever property they happen to be measuring, and confusion becomes worse confounded.

STICKINESS.

This is a good instance of a term where the chief problem is of the second type a matter of language rather than of definition, though a certain complication arises in English owing to loose definition of other words used to describe «stickiness». Of these, the worst offender is the word «viscous». Thus Webster's international dictionary gives «Sticky» Having the quality of sticking to a surface. Adhesive, gluey, *viscous*, viscid, glutinous, tenaceous».

* There is no doubt that there is confusion in this sense in Bingham's book itself, though his later writings are quite clear on the matter.

** Though Richardson (21) more cautiously quotes Bingham as describing plasticity as «the combined effect of cohesion and viscosity».

*** R. E. Wilson, not to be confused with H. Wilson, the author of «Clay Technology» quoted above.

For the *technical* meaning of viscosity Webster gives «(1) Resistance offered by a fluid to the relative motion of its particles. Internal friction. (2) Capability possessed by a solid of yielding continuously under stress». It is perfectly clear that «viscous» in the definition of stickiness does not refer to the same property as «viscosity» in the second definition quoted. In English, stickiness should refer to adhesive rather than cohesive resistance, and the distinction is most important, since with many materials (including soil pastes over a certain range) a fall in viscosity often accompanies an increase in stickiness, and vice versa. Thus, a sodium clay has, generally speaking, a much higher stickiness than the corresponding hydrogen clay at the same concentration, whereas its viscosity is definitely lower. Furthermore, the addition of water to a clay or soil at its sticky point increases the stickiness, but decreases the viscosity. It is clearly fatal to confuse the two properties in soil work, and with other plastic materials (such as flour dough for example) the distinction is exceedingly important. When we come to translation, we find that the French «coller» and the German «ankleben» appear to have almost exactly the same sense as the English «to stick», but in every case, there seems to be some tendency to confuse adhesive properties with cohesive, and «viscosity» is apt to creep into the definitions. The definition given by Shaw (1) at the First International Congress is, however, perfectly clear. A sticky soil is described as one «that shows a decided tendency when wet to adhere to other materials and foreign objects». (See also Russel (12) and, in general, the reports of the American Soil Survey Association.) Bouyoucos (26) maintains this good tradition by using the word «stickiness» in its proper sense in connection with his measurements of the stickiness of soils. He was apparently unaware of the earlier work of various Russian authors, whose results have been classified by Kachinski, who also describes in his book on Soil Physics (27) experiments of his own on the same lines. In this, he uses the word «Липкость» (which Alexandrow renders as «Stickiness, viscidity» giving as an instance of the use of the verb, «Липнет» «sticks to the hands»). This seems to be highly satisfactory.

However, when we come to the translation of a section of Kachinski's book into German (28), we find two words used, «Anklebefähigkeit» and «Viskosität». This is most confusing, and when the author speaks in another section of the «Bestimmung der Wasserkapazität, der *Viskosität*, des Quellvermögens» etc., one is at a loss to know to which property he refers. The Kachinski balance, while a most valuable instrument for measuring *stickiness* of soils, could only be said to measure *viscosity* when the moisture content of the sample had become so high that the balance altogether ceased to function normally in measuring stickiness. In the report on the proceedings of the VIth Commission, 1932 Conference (29), (Reporter : M. Porchet)

the word «Stickiness» as used by Scott Blair was translated into French as «propriété collante» and into German as «Klebrigkeit», both satisfactory; but in the discussion itself there was some confusion owing to uncertainty at the time as to the meaning and correct translation of the English word. In the same report «Flow-plasticity» is rendered «Viskosität (Flow-plasticity)», which is decidedly confusing, though the French «Plasticité d'écoulement» is excellent.

The word «Sticky-point» is generally given as «Point d'adhésivité», «Klebegrenze» «Граница клейкости», all of which seem reasonable. In view of this, it is difficult to see why so much confusion should have arisen with reference to «Stickiness» itself. The importance of the property has been realized by many soil workers, notably Haines (20), Bourdelle (30) as well as Bouyoucos (26) and Kachinski (27) and a number of other Russian workers quoted by Kachinski without detailed reference, but the term itself is evidently not sufficiently well known to ensure correct translation from one language into another. It has been suggested that the word adhesion should be used in place of stickiness in English. A possible objection is that the term is perhaps less general. Thus, one would say that the adhesion of a soil to brass differs from its adhesion to steel (vide Kachinski's book), whereas the stickiness of a soil refers solely to a property of the soil itself, and a high stickiness implies a high adhesion to other materials in general. This objection may be met by pointing out that, in practice, stickiness can only be measured with reference to a particular material to which the soil is caused to adhere. This is just the type of question which requires detailed discussion.

The same kind of confusion is to be found in the definition and translation of most of the other rheological terms quoted above, as well as in many not quoted, but it would be pointless to multiply examples. In various industries, and in many countries, attempts are being made to standardize definitions, but only too often these attempts are isolated from each other, and words come to be used in different industries and in different languages in senses so diverse as to make it very hard to benefit by, or even to understand. the work of those employing a different system from one's own.

No attempt has been made in this report to solve any of the problems discussed, and personal opinions on controversial matters have been, as far as possible, avoided. The purpose of the report is to point out the conditions prevailing, and to indicate some of the problems which require solution.

CONCLUSIONS.

The reporter therefore concludes that :

(1) The present state of confusion in the definition of rheological terms applied to soil physics is very serious, and will become steadily more so, unless steps are taken to reach an agreement; and further, that this agreement should extend as far as possible to include rheologists working in materials other than soil.

(2) The present uncertainty as to the correct translation of rheological terms often leads to the publication of misleading abstracts and reports, and that this state of affairs can only be remedied by the compilation of a lexicon for all those terms whose definition has been sufficiently standardized.

(3) Whereas the above remarks also apply to physical properties of soil other than rheological properties, these latter fall into a class by themselves, and require special treatment : and further, that it would be advisable that the rheological problems be initially discussed by a specialized personnel.

The reporter therefore submits the following recommendations to the Conference.

RECOMMENDATIONS.

(1) That a standing sub-committee be appointed by the Conference, having as its terms of reference the drawing up of a proposed set of definitions of rheological terms as applied to soil physics, together with a lexicon giving the best translation of these terms from one language into another, beginning with the English, French, German, and Russian languages.

(2) That to this sub-committee be appointed at least one person whose native language shall be one each of the aforesaid languages* [and also that the Society of Rheology be asked to nominate at least one member, preferably not a soil worker, who shall be experienced in rheological nomenclature].

(3) That, in order to facilitate procedure, as many as possible of the persons appointed to the sub-committee should have some knowledge in at least two of the aforesaid languages.

(4) That the sub-committee be instructed to submit, if possible, a preliminary report of progress to the Commission at the International Soil Congress in 1935, and that space be available on the agenda on that occasion for discussion of this sub-committee's report.

---

* The words in square brackets constitute a more tentative suggestion than the remainder of the text. The Conference might prefer to appoint a member of the I. S. S. S. well experienced in rheological matters instead of including a non-member in its sub-committee.

REFERENCES.

(1) Shaw. — *Proc. and Papers of the First Internat. Cong. Soil Sci.*, IV (1927), p. 56.

(2) Bingham. — *J. Rheol.* I (5), (1930), p. 510.

(3) Trouton. — *Proc. Roy. Soc.*, A. LXXVII (1896), p. 426.

(4) Palissy. — *Œuvres complètes*, Ed. Cap (Paris), (1844), p. 229 and 353.

(5) Brongniart. — *Traité des Arts céramiques*, 1844 (2nd edn. 1854). Published by Béchet Jeune, Paris.

(6) Wilson. — *Ceramics Clay Technology* (1927), p. 55.

(7) Atterberg. — *Int. Mitt. f. Bodenk*, I (1911), p. 10.

(8) Bowmaker. — *J. Soc. Glass Technol.*, XIV (1930), p. T. 330.

(9) Scott Blair. — *Trans. VI Comm. Internat. Soc. Soil Sci.*, A (1932), p. 246.

(10) Antonova. — *Pedology*, XIX (1924), p. 7.

(11) Baver. — *J. Amer. Soc. Agron.*, XXII (1930), p. 935.

(12) Russel. — *Amer. Soil. Survey Assoc. Bull.*, IX (1928), p. 100 etc.; X (1929), p. 137; XI (1930), p. 61.

(13) Russel and Wehr. — *J. Amer. Soc. Agron.*, XX (1928), p. 354.

(14) Till. — *Forts. der Landw.*, VI (1931), p. 738.

(15) Bancroft and Jenks. — *J. Phys. Chem.*, XXIX (1925), p. 1215.

(16) Pfefferkorn. — *Sprechsaal*, LVII (1925), p. 297; LVIII (1925), p. 183.

(17) Mellor. — *Trans. Farad. Soc.*, XVII (1921), p. 354.

(18) Scott Blair. — *J. Phys. Chem.*, XXXV (1931), p. 374; *Soil Sci.*, XXXI (1931), p. 291.
Scott Blair and Yates. — *J. Agric. Sci.*, XXII (1932), p. 639.

(19) Bingham. — *Fluidity and Plasticity*, McGraw Hill Book C°, New York, 1922.

(20) Haines. — *J. Agric. Sci.*, XV (1925), p. 188.

(21) Richardson. — *J. Agric. Sci.*, XXIII (1933), p. 176.

(22) Wilson. — *Ceramics Clay Technology* (1927), p. 108.

(23) Wilson and Hall. — *J. Ind. Eng. Chem.*, XIV (1922), p. 1120.

(24) Bleininger. — *J. Ind. Eng. Chem.*, CXXI (1920), p. 436.

(25) Cunningham. — *J. Phys. Chem.*, XXXV (1931), p. 796.

(26) Bouyoucos. — *Soil Sci.*, XXXIV (1932), p. 392.

(27) Kachinski. — Изучение Физических свойств «почвы», и корневых систем растений (1931).

(28) Kachinski. — *Proc. and Papers of the Second Internat. Cong. Soil Sci.* (Moscow), I (1932), p. 57.

(29) *Trans. VI Comm. Internat. Soc. Soil Sci.*, B (1933), p. 306.

(30) Bourdelle. — *Proc. and Papers of the Second Internat. Cong. Soil Sci.* (Moscow), I (1932), p. 124.

THE NEED
FOR STUDIES OF SOIL COLOR,

BY

CHAS. F. SHAW,

UNIVERSITY OF CALIFORNIA BERKELEY, CALIFORNIA.

The color of the soil is a characteristic that is observed and noted by nearly all writers, whether laymen or scientists, in the description of any country or region. In many countries the common terms used in soil nomenclature are based on color, as evidenced by the Russian designations of Chernozem, Krasnozem, Serozem, etc., and the German Braunerde, Schwartzerde and the like. Most of these names have in recent years been more or less restricted in their scientific meaning (i. e. all black soils are not designated as Chernozems), yet the persistence of the color terms in the scientific as well as the common terminology of soils indicates the marked influence of this characteristic.

In soil descriptions the color is a very important aid in the recognition of generic and genetic types of soil and often serves as one of the most convenient brief designations of the difference between the several layers of a soil profile or between the several soils of a region. Color is only one of many characteristics that serve to identify and establish a particular soil, but being a visible characteristic, its indicative value is unusually high.

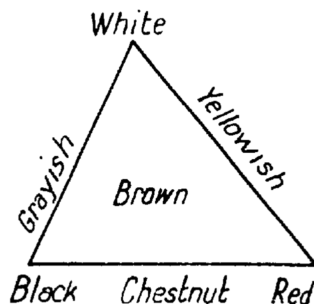
Soil colors are expressed in the colloquial terms of common speech, without definitely fixed or established standards. Soils are termed gray, black, red, yellow or brown, as basic designations, with modifying adjectives or combinations to indicate variations in shade or hue. Light brown, grayish yellow, dark red, reddish brown, light yellowish red and the like are terms in common use in soil descriptions. Standardization of these terms has not as yet been established, and in fact only a few attempts at standardization have been made. As a result we find much variation in the application of these color designations. Not infrequently, we find that a soil designated light brown by one observer would be called grayish brown or brownish gray by another (3). It is also the common experience of men working in the soil survey that their color standards tend to shift, and if they work for a considerable period of time in a region of dark soils, they begin to subdivide these soils on the basis of degree of darkness and to designate those of lighter shade by terms that are generally much more expressive of light color than the actual

or broadly comparable color of the soil would warrant. A study of soil literature and a review of experience in soil survey work makes obvious a very decided need for standardization of soil colors and of the nomenclature thereof.

Several investigators in recent years have suggested methods of establishing standards and nomenclature. That none of these have proved particularly adapted to the problem is evident by the lack of adoption of any of the schemes or methods that have been presented. This has probably been due largely to the difficulty in definitely measuring the soil color and establishing standards for the different colors that have been encountered.

The field of soil color, and the diagnostic value of color as an indication of productive capacity has long been discussed by those working in agriculture and forestry. More recently color has been discussed by pedologists as an indication of the age of a soil, or of the influences of its heredity and environment. Nearly every textbook on soils has a chapter on soil color in which the old, orthodox statements regarding the causes and implications of soil color are repeated.

In most texts the soil color field is indicated by a triangular diagram in



which white, black and red are placed at the angles and brown is placed in the center, with various shades of gray between the black and the white of brown and chestnut between the black and the red, and shades and hues of yellow between the red and the white. Mixtures of red and white do no produce the primary color yellow, but Robinson and McCaughey (20) state that «by actual experiment a soil made by an intimate mixture of a red soi and a white or light gray soil is yellowish in color». In their paper they discuss at some length the role of organic and ferric oxides in soil color, and the possible relations between intensity or depth of color and the amounts of these ingredients. Their paper is a fair sample of the treatment of soil colo by most of the earlier writers.

Since the development of interest in soil morphology and soil taxonomy, the need for more definitely naming the soil color has been recognized and many attempts have been made to establish standards for soil colors, especially standard replicas that could be carried in the field. In the early years of the soil survey (1905-1910) in the United States much work was done along this line. Colored cards and colored cloths were tried but in every case the light value and the reflections from the surfaces gave color effects markedly different from those of the soils. The efforts were finally abandoned, and no report of this work was ever published.

Arkhangelskaya (1) has discussed the possibility of designating the soil color by matching the soil with the Ostwald standard color charts, while Hutton (8, 12, 14) and others have used the color standards of Ridgeway. In each of these studies, the difficulties of matching the smooth uniform surface of the standard color cards with the uneven, granular soil surface having shadows and reflections, make a satisfactory matching almost impossible. Failure attended every attempt at so smoothing the soil as to give a surface with light values comparable to that of the colored cards. It is evident that the programs of Arkhangelskaya and those working along similar lines are good in theory but in practice they do not give satisfactory results.

The use of powdered or granular material as color standards for comparison with soils was attempted by Tiuremnov. He used barium chromate for yellow, iron oxide for red, with powdered chalk and lamp black. These were mixed in varying proportions to give colors more or less comparable to Ostwald's color cards. Tiuremnov's death occurred before the details of the method were fully worked out and Negovelov and Shaniavsky (15) have carried on the work. They have prepared over 500 color standards and in laboratory application feel the method to be reasonably satisfactory. Attempts to prepare standards that could be carried for use in the field have thus far proven failures.

In this work they find that soil colors readily recognized in the field or laboratory fall between the standards of Ostwald, making necessary a further subdivision of the Ostwald color scale. This has also been found by workers in the United States who have used the Ridgeway color standards. Bushnell (4) has pointed out the relatively small region of the color world that is occupied by soil colors, giving diagrams showing the huechroma, the chroma-value and the hue-value regions. The color of dry soils appears to embrace 6 per cent of the color volume, 16 per cent of the hue range, 80 per cent of the value range and 60 per cent of the chroma range. With a limited range in soil colors, the terms indicating minor variations in shade and hue need to be carefully standardized to prevent confusion and misunderstanding of the color designations.

The investigators appear to agree that the soil color can be matched by mixtures of black, white, yellow and red. Following this line of investigation Hutton (7, 10, 11, 12, 13) and his associates on the Soil Color Standards Committee of the American Soil Survey Association applied the principle of rotating color discs to the factoring of soil colors. They found that by the use of four discs : white (neutral 9), black (neutral 1), red (red 4/9) and yellow (yellow 8/8) they could reproduce the color of any of the soils encountered in their investigation, selected from the very extensive collection of soil samples of the U. S. Bureau of Chemistry and Soils in Washington D. C. In practice, the soils to be measured were held in shallow dishes either beside or over the rotating discs, and in matching the colors the effect of shadow and reflected light from the uneven soil surface created much difficulty. Essentially the problem was the same as those encountered when matching the soils with Ostwald's or Ridgeway's standards cards.

Shaw (21) has presented a method of overcoming this difficulty by painting the soil on white blotting paper, cutting out small discs of this soil-coated paper and mounting these in the middle of the color disc wheel, rotating both soil and colors. By this means, the light effect of the uneven soil surface is blended to a smooth «color» which can be readily and quickly matched by the discs. The color of the dry «mud-painted» surfaces is quite similar to that of a dried clod or a dried soil crust, and while it does not express the color of the soil as reflected from a granulated or cultivated field surface, or that of a wet soil, it is a condition that can be reproduced and can be standardized for any given soil. The color measurements can be stated by giving the percentage of each color disc exposed, as B46, W20, R24, Y10. Hutton has termed this «factoring» the soil color. The surface of the rapidly rotating discs gives a color value that can be matched with Ostwald's or Ridgeway's standards with reasonable accuracy, thus making possible the designation of the soil color in terms of these established standards. The difficulty of matching the lights and shadows of the soil with the smooth surface of the standard cards is overcome by blending these lights and shadows by rapid rotation.

The use of the color disc method appears to afford the most satisfactory method as yet presented for the designation of soil colors in such a way that workers in different parts of the world can reproduce and compare them with the colors of their own soils. The four standards that have been adopted by the Soil Survey Association have been measured by the United States Bureau of Standards, the standardization data being given in detail in Hutton's paper (14) before the First International Congress of Soil Science. With this information available, it should be possible to reproduce in the several countries standard paper discs of equal color value to those adopted

and manufactured in the United States. Nickerson (16) has given an excellent discussion of the application of the color disc method to the general problem of measuring colors, and has offered a mathematical formula for reducing the color designation to a single numerical value.

Carter (5), Winters (23, 24) and Arkhangelskaya (1) have reported on the measurement of soil colors by spectrophotometers. The method is slow and expensive but more precise than the others described. The expression of results by curves, light values and wave lengths is involved and cumbersome and the method does not give promise of extensive use. Wave lengths expressing tint are reported in every case as lying between 580 and 600.

The possible development of means of measuring soil colors does not, however, solve all of the color problems of the pedologist. There is still the question of color names and designations. Do all pedologists agree on the color to be designated as brown, or as light gray, or as dark red ? Does «chestnutcolored» indicate a soil with a «rich reddish brown» color comparable to the nut of some chestnut trees, or is it the «dull brown» of certain small chestnuts, or does it suggest a steel gray, the color of the bark on the chestnut tree ? In other words, what is meant by «chestnut-colored ?» Obviously, the first problem is to secure a large number of color measurements, using in all the different countries standardized discs of the same quality, and reporting not only the color «factors» for each soil, but also the local designations or words that would be used to describe the color, such as «light brown». The committee or commission might then make comparison of the terms as applied and determine whether or not there were any reasonable degree of uniformity in our soil designation. If considerable agreement already exists, as evidenced by such measurements, then the development of an international soil nomenclature would be relatively simple. It seems highly desirable that a soil designated as «light red» in the United States, be also designated «light red» in Australia, Germany, Java or Brazil. Only by such international understanding of the meaning of the terms can consistence in soil descriptions be attained and soil science, insofar as this aspect is concerned, become truly scientific.

An agreement on soil nomenclature would involve first, very extensive studies of the actual color of the soil as indicated by the color disc method, and then an international conference to discuss the results and endeavor to reach an agreement on the proper term to be used in expressing any given color combination. An example of the possible measurements and designations is given in table 1, taken from a study now under way at the University of California. These soils are formed by the residual weathering of granitic rocks and represent series of soils of different ages or stages of weathering, and other series of equivalent age but formed under different conditions of

climate. Conrey and Oliver (6) report the results of similar measurements, with correlations to the degree of weathering and conditions of drainage.

THE CAUSE OF SOIL COLORS.

The establishment of a world standard for soil nomenclature will be a distinct advance in soil science, but there is needed in addition a study of the soil to determine the reason for the particular hue, tint or shade and the significance of the color as a soil characteristic. This problem involves, first, the measurement of soil colors and the establishment of nomenclature as indicated above, and second, exhaustive chemical and physical studies, followed by a correlation of these studies with color and other morphological features and perhaps with crop responses.

Perhaps the most obvious color relation is that ascribed to organic matter. There appears to be a rather general feeling that organic matter is largely responsible for the darkness of soils and commonly it is assumed that the degree of blackness is related to the amount of organic matter. From studies already made, we know that these conclusions cannot be safely drawn, but we further know that organic matter does have a marked influence on the darkness of soil shades. Treatment of soils with hydrogen peroxide to oxidize the organic colloids and to thus bleach the soil by destroying the organic pigment has been suggested as an indirect means of approximating the content of organic colloids. Work that has been done along this line, reported by several workers, indicated that there is not a definite relation between quantity of organic matter and degree of blackness, or between degree of blackness and amount of bleaching that can be accomplished by hydrogen peroxide. Most of these investigations are not sufficiently extensive to cover all the aspects of the problem, and leave much to be desired. In the studies by Shaw (22) the organic matter of only a few of the soils was reported, but these suggested that the soils that were calcareous lost very little blackness by hydrogen peroxide treatment, while those that were non-calcareous and distinctly acid lost 20 per cent to 30 per cent of their blackness after treatment with hydrogen peroxide. It is obvious that there is much need in this field for study of the relation between soil organic matter and soil color. Brown and O'Neal (2) in Iowa found a corresponding lack of correlation between the soil color and the content of organic matter.

The redness of soil is usually ascribed to the content of iron oxide, its degree of oxidation and its distribution through the soil mass. Here again the evidence is not conclusive and there is much need for study of red soils to determine the location of the red pigment as well as its chemical composition. This

TABLE I. — COLOR OF SOILS AND SOIL COLLOIDS.

NUMBER.	DEPT.	HORIZON.	FACTORED COLOR OF SOIL.				RIDGWAY NAME.	FACTORED COLOR OF COLLOID.				RIDGWAY NAME.
			B	*W*	*Y*	*R*		*B*	*W*	*Y*	*R*	
Sierra Sandy Loam :												
751	1 1/2"-8"	A_1	51	99	20	20	Sayal brown	38	15	22	25	Wood brown.
752	11"-20"	A_2	43	9	21	27	Cinnamon.	39	9	21	31	Light Mikado brown.
753	22 1/2"-23"	B_1	45	4	16	37	Cinnamon rufous	40	4	15	41	Hazel.
754	35"-43"	B_2	40	2	15	43	Ferruginous	—	—	—	—	
Sierra Sandy Loam :												
758	1/2"-8"	A_1	45	10	20	25	Cinnamon.	37	13	22	28	Fawn.
759	15-1/2"-24"	B_1	42	5	17	36	Cinnamon rufous	39	4	16	41	Pecan brown.
760	27"-47"	B_2	41	2	15	41	Ferruginous	44	2	11	43	Kaiser brown.
Fallbrook Sandy Loam :												
770	1/2"-14"	A	56	4	15	25	Tawny	60	7	13	20	Verona brown.
771	$14\frac{1}{2}$-$22\frac{1}{2}$"	B_1	50	2	14	34	Hazel	60	3	8	29	Bay.
722	$27\frac{1}{2}$-$41\frac{1}{2}$"	B_2	50	4	16	30	Hazel	65	2	8	25	Chestnut.
Holland Sandy Loam :												
755	1"-19"	A	56	10	18	16	Wood brown	46	18	22	14	Arvellaneous (Dark).
756	24"-53 1/2"	B_1	43	14	24	19	Light wood brown	30	19	28	23	Arvellaneous.
757	37-1/2"-56"	B_2	32	19	30	19	Cinnamon buff	24	20	31	25	Arvellaneous (Light).
Holland Sandy Loam :												
761	5"-12"	A	66	10	14	10	Drab	55	18	16	11	Drab.
762	18"-29"	B_1	53	11	19	17	Wood brown	40	17	22	21	Arvellaneous.
763	30"-41"	B_2	45	10	23	22	Cinnamon / Towny olive.	39	15	22	24	Arvellaneous.
Vista Sandy Loam :												
767	5"-23"	A_1	64	10	14	12	Drab	62	15	14	9	Drab (Dark).
768	24"-43"	A_2	63	7	16	14	Snuff brown	70	10	11	9	Drab (Dark).
769	40"-56"	B_2	55	10	20	15	Wood brown	—	—	—	—	
Siskiyou Sandy Loam :												
764	1"-15"	A	43	26	29	11	Drab gray (Dark)	33	40	17	10	Drab gray (Light).
765	16-1/2"	B_1	30	32	24	14	Vinaceous buff (Light)	21	43	23	13	Tilleul buff.
766	23"-34"	B_2	24	27	32	17	Pinkish buff	15	40	27	18	Vinaceous buff.

B = Black; *W* = White; *Y* = Yellow; *R* = Red.

Sierra, Holland and Siskiyou profiles are from the Sierra Nevada foothills of Placer and Eldorado counties, California, U. S. A. Fallbrook and Vista profiles are from the Sierra Madre foothills of San Diego county, California, U. S. A.

applies equally as well to yellow soils, which presumably are also related to hydrated forms of iron insofar as color characteristics are concerned.

It has been observed in soil surveys that some soils on becoming moist turn darker in shade, while others whose color in the dry state is apparently the same, do not vary much in shade but become redder when moist. O'Neal (18, 19) has reported no definite relation between the soil color and the content of soil moisture. There is a reason for such shifts in the color scale and the relations between color and moisture that offers a good field for investigation.

At the University of California in Berkeley there is now under way the measurement by the disc method of the colors of several hundred soils both in the natural state and after treatment by hydrogen peroxide. The blended colors of the rotating disc are also being compared with Ridgeway's Color Charts to determine, where possible, the color designation indicated by that authority. This mass of data may prove a nucleus for more extensive studies on other features involved in soil color. Measurements of soil colors by means of the rotating disc method are under way in several laboratories in the United States, in the soil department of the National Geological Survey of China and probably in some of the European countries. The full value of such studies cannot be realized, however, until there are made in other parts of the world extensive studies of soil color by similar or comparable methods, and all the results compared and correlated.

The following proposals for work on soil colors are presented to the Commission, with the suggestion that the results be presented to the Third International Congress of Soil Science at Oxford, England in 1935.

First : That measurements of the color of large numbers of soils be made using the rotating disc method with the standard color discs described by Hutton (14), and mounting the soil on small discs as described by Shaw (21). That the common designation of the soil color in the air-dry condition be reported. That the soil colors be also matched with the color standards of Ostwald and Ridgeway and their designations reported.

Second : That the soils be treated with hydrogen peroxide and the resultant colors be studied as indicated above.

Third : That the effect of differing amounts of moisture on the soil be studied by similar or comparable methods.

Fourth : That wherever possible the chemical composition related to soil color (organic matter, iron in its several forms, manganese, etc.) be determined and reported to aid in interpreting the soil colors.

Finally : The establishment of a committee to study and correlate the data that there may be derived by international agreement, a standardization of the terms used in expressing soil color.

SUMMARY.

The color of soils is an important characteristic and is actually used in nomenclature, e. g. Tshernosem (Black-earth), Braunerde (Brown-earth), etc. It is an important aid in the recognition of different kinds of soil and of the horizons of individual profiles.

Colors are usually expressed by terms of common speech without precise meaning. There is thus considerable variation in their significance as used by different workers and even by the same worker.

The use of color atlases is discussed. Difficulties occur in matching the colour of a soil surface with that of the color in an atlas. Further, only a small proportion of the color field of an atlas is occupied by soil colors.

Soil colors can be defined in terms of standard black, white, yellow, and red. Matching can be effected by means of a rotating disc in which the proportions of the component standards can be varied. The soil can be painted on to a disc which can be rotated in the centre of color disc to facilitate matching. Color is specified as the proportion of each component, e. g. B46, W20, R24, Y10.

When the problem of specification has been solved there remains the problem of nomenclature, e. g. the meaning of chestnut-colored.

It is recommended that color measuremente shoud be secured from different countries together with corresponding names. Colors should be determined in the air-dry condition, with and without peroxide treatment. The effect of moisture should be studied. Where possible, chemical data (organic matter, composition of clay, etc.) should be given.

It is recommended that a special committee should be set up to study this question.

REFERENCES.

(1) Arkhangelskaya (N. A.). — An experiment in the classification of the coloring of soils based on the doctrine of Wilhelm Ostwald.

(2) Brown (P. E.) and O'Neal (A. M.). — The colors of soils in relation to organic matter content. *Iowa Exp. Sta., Res.*, bul. 75, 1923.

(3) Bushnell (T. M.). — Vocabularies of soil color terms. *Am. Soil Survey Assn.*, bul. 7, p. 93-96 1926.

(4) —— The soil color field. *First Int. Cong. Soil Sci.*, vol. 4, p. 429-435, 1927.

(5) Carter (Wm. T.). — Color analysis or soil with spectrophotometer. *Am. Soil Survey Assn.*, bul. 12, p. 169-170, 1932.

(6) Conrey (G. W.) and Oliver (L. M.). — The color of the brown forest soils and their associates in Ohio. *Second Int. Cong. Soil Sci.*, vol. 5, p. 166-171, 1932.

(7) Hutton (J. G.), Rice (T. D.) and O'Neal (A. M.). — Report of the committee on soil color standards. *Am. Soil Survey Assn.*, bul. 3, p. 1-8, 1922.

(8) —— bul. 4, p. 89-95, 1923.

(9) —— bul. 5, p. 125, 1924.

(10) —— bul. 6, p. 88-90, 1925.

(11) —— bul. 8, p. 53-56, 1927.

(12) —— bul. 9, p. 136-147, 1928.

(13) —— bul. 13, p. 179-180, 1932.

(14) Hutton (J. G.). — Soil Colors, their nomenclature and description. *First Int. Cong. Soil Sci.*, vol. 4, p. 164-172, 1927.

(15) Negovelov (S. F.) and Shaniavsky (Z. V.). — Scale of colors of Prof. S. I. Tiuremnov. *Second Int. Cong. Soil Sci.*, vol. 5, p. 159-166, 1932.

(16) Nickerson (D. A.). — Method for determining the color of agricultural products. *U. S. Dept. Agr., Tech.*, bul. 154, 1929.

(17) O'Neal (A. M.). — The need of color standards for use in the field. *Am. Soil Survey Assn.*, bul. 4, p. 96, 1922.

(18) —— The effect of moisture on soil color. *Soil Science*, vol. 16, p. 275-279, 1923.

(19) —— The effect of moisture on soil color. *First Int. Cong. Soil Sci.*, vol. 4, p. 335-343, 1927.

(20) Robinson (W. O.) and McCaughey (W. J.). — The color of soils. U. S. Dept. of Agr., *Bureau of Soils*, bul. 79, 1911.

(21) Shaw (C. F.). — An Improved method of measuring soil color. *Soil Science*, vol. 33, p. 183, 1932.

(22) —— Organic matter as a factor in classification of the soils of dry regions. *Jour. Am. Soc. Agron.*, vol. 24, p. 565, 577, 1932.

(23) Winters (E.). — The measurement of soil color. *Am. Soil Survey Assn.*, bul. 12, p. 34-37, 1930.

(24) —— Notes on the study of soil color. *Am. Soil Survey Assn.*, bul. 12, p. 65-66, 1931.

DISCUSSION.

a. SOIL STRUCTURE, BODENSTRUKTUR, STRUCTURE DU SOL.

Hooghoudt : Kozeny hat schon in den Verhandlungen der sechsten Kommission der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Teil A, Seite 46 u. ff., einen Strukturfaktor besprochen. Er will die spezifische Oberfläche eines Bodens in Einzelkornstruktur nach der mechanischen Analyse von Zunker mit Berücksichtigung der neueren Methoden der Kolloidtonbestimmung ermitteln (U_e = spezifische Oberfläche des Bodens in Einzelkornstruktur) und die spezifische Oberfläche der Krümel im gewachsenen Boden (U_a = effektive spezifische Oberfläche) mit Hilfe einer geeigneten Durchlässigkeitsbestimmung (K) unter Benützung der Formel : $U_a \sqrt{K}$ angenähert gleich 0.4 bestimmen. Die Verhältniszahl $\frac{U_a}{U_e} = \zeta$ ist geeignet, die Struktur des gewachsenen Bodens zu charakterisieren. Sie beträgt für Böden in Einzelkornstruktur 1.0 (Sandböden) und wird umso kleiner je grösser die Krümel werden.

Diese Strukturziffer ist meiner Ansicht nach exakt, weil sich die Durchlässigkeit – wenigstens in den Schichten unter des phreatischen Oberfläche – im gewachsenen Boden an Ort und Stelle sehr genau bestimmen lässt.

Eine im Wesen ähnliche Strukturziffer – bei der allerdings die Bestimmung der beiden Oberflächen eine andere ist – wird jetzt von Hénin vorgeschlagen. Seine Berechnungen der beiden Oberflächen sind aber viel zu roh und wenig genau. Einmal ist die Verhältniszahl 10 für die Fraktionen, z.B. für 2-20 μ und 20-200 μ usw. nicht richtig. Das würde nur der Fall sein, wenn die Kornverteilung in diesen Fraktionen gleich wäre. Zunker hat aber gezeigt – und ich habe das weiter beweisen können –, dass man nur dann in allen Fraktionen eine bestimmte Kornverteilung annehmen darf, wenn die äussersten Grenzen der Fraktionen wenig auseinander liegen (z. B. 16-43 μ; 43-74 μ; usw.). Weiter ist es nicht gestattet für die Fraktionen kleiner als 2 μ (Hénin schreibt 0-2 μ) den Faktor 1000 (oder 10000 für die totale Oberfläche) zu benutzen. Denn erstens ist der kleinste Durchmesser der Körner nicht 0, zweitens ist er nicht bekannt, drittens beruhen die Faktoren auf reiner Annahme und ist der Beweis für ihre Richtigkeit nicht erbracht, wärend Zunker seine Berechnungen für die spezifische Oberfläche – also auch für die kleinsten Fraktionen – mit Durchlässigkeitsbestimmungen wenigstens wahrscheinlich gemacht hat. Weiter ist zu bemerken, dass es nur von Hénins Definition der Strukturziffer herrührt, wenn er für seine Ziffer auch die Textur des Bodens mit in Betracht ziehen muss. Notwendig ist dies aber gar nicht, wie aus dem Vorstehenden hervorgeht.

Zum Schluss ist noch hervorzuheben, dass bei der Bestimmung der beiden Oberflächen die Struktur des Bodens ohne Zweifel gestört wird, was bei der Bestimmung der Strukturziffer nach Kozeny nicht der Fall ist.

Diserens. La représentation graphique des résultats de l'analyse mécanique donne une image de la structure lorsque la texture du sol est granuleuse. Cette représentation peut se faire dans le plan ou dans l'espace.

A côté de la porosité p, le volume de l'eau en mouvement dans le sol (coefficient μ de Porchet) donne un aspect de la structure car le volume apparent du sol égale le volume des particules plus l'eau d'adhésion plus le volume de l'eau en mouvement. Dans un sol essuyé, l'eau en mouvement est remplacée par de l'air. Le coefficient μ se détermine également dans les sols humifères et tourbeux, c'est-à-dire qu'il n'est pas applicable pour l'analyse mécanique.

Par contre l'expression de surface spécifique introduite paz Zunker pour caractériser les résultats de l'analyse mécanique n'a pas de rapports avec la structure. En effet, d'après la définition, la surface spécifique est un rapport inversement proportionnel au diamètre spécifique des particules. On devrait donc dire rapport spécifique de la surface ou spezifische Verhältniszahl der Oberfläche.

Ce rapport est dans une certaine relation avec la vitesse de filtration, coefficient K de la loi de Darcy, seulement pour les sols sableux. La relation ne peut exister pour les sols argileux et glaiseux.

Demolon. Étant donné l'importance du sujet, je propose que la I[re] Commission comprenne dans ses résolutions un programme de travail relatif à la structure en vue du Congrès d'Oxford (voir Résolution III p. 306).

ON Dr SCOTT BLAIR'S PAPER.

Wolf. Asks for the extension of the work of the proposed sub-committee to cover all terms used in soil physics.

Bourdelle. Les termes de définition des forces élémentaires s'exerçant sur les sols (forces internes du sol et forces de contact avec les matériaux autres) étant mal arrêtés jusqu'ici, il est donc intéressant qu'un sous-comité soit chargé de définir les forces ou propriétés en question, de leur donner les noms les plus correspondants d'un pays à un autre, et les plus en rapport avec les noms des mêmes forces ou propriétés existant en science des matériaux pour tous autres milieux que le sol.

Demolon. Demande qu'en vue du Congrès d'Oxford la proposition de M. Scott Blair soit étendue aux autres Commissions de l'Association.

Novak. Die Frage der Nomenklatur in der bodenkundliche Gesellschaft ist nicht neu. Schon in Stockholm 1910 worde eine Kommission für die Nomenklatur und Klassifikation gegründet, die sich jedoch später mit der Bodengenetik und Kartographie beschäftigte. Die Nomenklatur ist sehr wichtig und deshalb ist es nötig den Vorschlag von Dr. Scott Blair, der von Ing. Wolf erweitert wurde, in Erwähnung zu nehmen. Ich empfehle ein Subkommittee für die Physik und Mechanik bei der I Commission zu gründen, ausserdem dem III bodenkundlichen Kongress einen Vorschlag zu stellen, bei allen Kommissionen ähnliche Subkommitteten für die Nomenklatur zu gründen. Alle Sub-Kommitteten können seine Arbeiten in einer allgemeinen Kommission (eventuell nur in einem Ausschusse) für die bodenkundliche Nomenklatur konzentrieren.

ON Dr PRESCOTT'S PAPER.

Diserens. En vue d'obtenir une classification et une dénomination convenable des termes nous avons proposé en 1926 d'utiliser les résultats de l'analyse mécanique. Un projet a été adopté le 19 mai 1926 par une conférence des représentants des établissements suisses de recherches agricoles prévoyant la répartition des quatre groupes principaux de sols, les argiles, les glaises, les sables et les limons, suivant les résultats de l'analyse mécanique opérée au moyen de l'appareil Kopecky.

Cette classification a été vérifiée si ses indications correspondent aux appellations courantes basées sur l'examen microscopique. On a trouvé qu'il convenait de donner une importance prépondérante à la proportion d'argile. Il en est résulté le mode de classification publiée par le Département fédéral de l'Économie publique en 1930 dans les instructions pour les demandes de subsides en faveur de travaux d'amélioration du sol.

Dès lors cette classification a été reconnue par les représentants des établissements de recherches et du Génie rural comme correspondant aux appellations courantes. Elle présente l'avantage de tenir compte de la perméabilité.

Prescott. The theoretical correlation between soil texture and mechanical analysis must eventually take account of psychological factors such as inability to distinguish more than a limited number of classes (say ten) and Fechner's law which relates the reaction te the logarithm of the stimulus. The subdivision of the classes should further be a function of the colloid plus non-colloid so that the subdivision of the triangle or tetrahedron representing mechanical analysis should, in general, be in zones representing equal proportions of clay. True silt classes are possibly rare or non-existent.

RÉSOLUTIONS III-IV. (Voir pages 306 et suiv.)

SÉANCE DU 4 JUILLET

(MATIN : 9 H. 45)

Président : G. W. ROBINSON

Secrétaires : O. FAUSER, R. K. SCHOFIELD, S. HÉNIN

HUMIDITÉ DU SOL, TEMPÉRATURE DU SOL

ET

SUJETS DIVERS

SOIL WATER

BY

R. K. SCHOFIELD.

(SOILS PHYSICS DEPARTMENT, ROTHAMSTED EXPERIMENTAL STATION, HARPENDEN, ENGLAND.)

Soil is a suitable habitat for micro-organisms, fungi and the roots of higher plants because amongst other things it behaves as a water reservoir. An inquiry into the nature of the forces which bring about this water storage and the quantitative relationships involved constitutes one of the most important branches of soil physics. The word «capillary» has been very generally used to describe the condition of this stored water. In so far as this word is merely intended to signify that this water is situated in thin layers adjacent to solid surfaces or between solid surfaces separated by very short distances, it is doubtless a statement of fact. Too often, however, it is taken to imply that the principal force at work is that of *surface tension* (tension of air/water surfaces) which is a manifestation of the cohesive attraction of water molecules one for another. The adhesive attraction of the solid surfaces in the soil for water molecules is probably of far greater importance. Furthermore, it must not be thought that the «capillaries» in soil are unalterable as to size. The shrinkage of soil on drying and its swelling on rewetting show, on the contrary, that the «capillaries» themselves must contract and expand with changes in their water content.

Two recent investigations show that water can be stored *between the cleavage planes* of clay minerals. Cashen[1] followed the changes which occur in the electrical impedance of kneaded soil blocks as these dry out, and found that the curves so obtained can be divided into a definite number of segments corresponding to equal increments of water. Similar results have now been obtained with several pure minerals and in these cases the number and disposition of the segments bear a most suggestive correspondence to the crystal configuration. The suggestion that water can enter between the crystal planes and cause the crystal to swell receives valuable support from the work of Hofmann, Endel and Vilm[2] who have found from X-ray analysis that the

---

[1] Cashen. J. Agric. Sci., 1932, *22*, 145.
[2] Hofmann, Endel and Vilm. Zeit für Kristal. 1934, *86*, 340.

spacing of the cleavage planes of montmorillonite is increased when the crystals are moistened.

Hardy [1] has studied the shrinkage of a range of tropical soils using Haines' method. It will be recalled that a soil block on drying shrinks by an amount equal to the volume of the water lost until a certain moisture content is reached, and that further drying is accompanied by a much smaller « residual shrinkage ». In the case of the kaolin studied by Haines normal shrinkage occured down to 26 per cent moisture and further drying caused no further shrinkage. Hardy finds the same behaviour in a group of soils which on other grounds have been classed as « kaolinitic », while other groups exhibit in varying degree the « residual shrinkage » generally found in soils of the temparate zones where the active minerals are more of the type of montmorillonite.

Simple relationships are more likely to be found in pure minerals. In soil wetted to the sticky-point there is not only the water held within the clay minerals and the organic matter, but some also will be held mechanically if a considerable proportion of coarse particles (sand) be present. This has been recognized for some time (Keen and Coutts [2]) and is illustrated by recent measurements of Prescott and Poole [3] who show that the sticky-point moisture bears an increasing ratio to that retained by the soil in the Briggs-Shantz moisture equivalent centrifuge as the proportion of coarse material increases. The moisture equivalent, unlike the sticky-point, is additive in character and appears to be a measure of water held by the clay and organic matter. We are not, however, justified in assuming, that the water which must be added to a soil sample after removal from the Briggs-Shantz centrifuge to bring it to the sticky-point is all mechanically held. The conditions in the 1 cm. depth of soil in the centrifuge while subjected to a field of 1,000 g. should presumably be compared with 10 metres of soil under ordinary gravity with a free drainage at the base. The problems which are involved in this case of the vertical column are by no means solved as yet, but one line of attack is to determine the free-energy of removal of water from soil as a function of the moisture content.

The most direct method is through a determination of the vapour pressure. Under the name of « hygroscopicity » this is associated with the name of Mitscherlich and has been studied more recently by Professor Smolik who has prepared a special report on this subject. It will, therefore, only be mentioned here in so far as it is connected with the general development of

---

[1] Hardy. J. Agric. Sci., 1934, *24*, 59.
[2] Keen and Coutts. J. Agric. Sci., 1928, *18*, 740.
[3] Prescott and Poole. J. Agric. Sci., 1934, *24*, 1.

our subject. The important result for our immediate purpose is that when in contact with an atmosphere as near to saturation as 99 per cent the soil is nevertheless too dry for ordinary plant growth. The practical difficulties of measuring the free energy over the range of moisture contents most favourable to plant growth are more easily overcome by using the freezing point method, since 99 per cent vapour saturation is approximately equivalent to 1° C. depression, so that a fairly accurate measure can be made at a moisture content corresponding to a 99,99 per cent humidity.

Table I.

Table I gives freezing point data by Bouyoucos and McCool [1] on a clay soil. The humidities are calculated using the well-known relationship

$$-\log_e h = \frac{L}{RT^2} t$$

by assuming that L has its usual value for «free» water. Some doubt is thrown upon the validity of this assumption since the heat of wetting of a dry soil appears to be numerically greater than the free-energy of wetting which can be calculated from data connecting the relative humidity h with the moisture content m by the relation

$$\text{free energy of wetting} = \int RT \log_e h . dm$$

This being the case, L must be reduced so that the actual humidities should be somewhat greater than those given in the table. This discrepancy is not likely to be large in the moisture range covered by Table I, but it nevertheless has a theoretical importance and deserves further study. Refinements in experimental technique would, however, appear to be needed in such an investigation. Bouyoucos found that t tended to diminish on thawing and re-freezing, so that experimental values of t are likely to be too high unless care is taken to establish a truly reversible equilibrium. In the case of hygroscopicity measurement, a source of difficulty has been revealed by the recent work of Sinclair [2]. His studies indicate that the rate of heat conduction rather than the rate of vapour diffusion limits the speed of attainment of equilibrium. In attempting to bring dry soil by vapour condensation to equilibrium with a 99,9 per cent humidity atmosphere, a rise of only 0 3° C.

(1) Bouyoucos and McCool. Mich. Exp. Sta. Tech. Bull. *24* (1915) and *31* (1916).
(2) Sinclair. J. Phys. Chem., 1933, 37, 495.

in the temperature of the soil relative to the vapour would change the humidity to 99,8 per cent with respect to the soil, and reduce the equilibrium

TABLE I.

MOISTURE % m	FREEZING POINT DEPRESSION t (Obs. Bouyoucos).	RELATIVE HUMIDITY h (Calc.).	NaCl SOL. WITH SAME F. P. DEPR. (CALC.).	
			OSMOTIC PRESSURE P Atmos.	NORMALITY n.
10	1.226	98.813	14.80	0.330
12	0.928	99.101	11.17	0.249
14	0.583	99.435	7.04	0.157
16	0.374	99.638	4.51	0.101
18	0.283	99.726	3.41	0.076
20	0.209	99.788	2.64	0.059
22	0.175	99.830	2.12	0.047
24	0.138	99.866	1.67	0.037
26	0.099	99.904	1.19	0.0256
28	0.065	99.937	0.78	0.0175
30	0.048	99.954	0.57	0.0127
32	0.043	99.958	0.52	0.0117
34	0.038	99.963	0.46	0.0103
36	0.036	99.965	0.44	0.0097

moisture content by some five per cent. The high latent heat of vapourization makes such temperature differences inevitable during the process of vapour condensation unless special precautions are taken to conduct the heat from the soil to the solution from which evaporation is taking place. It has been a frequent experience that removal of air does not greatly hasten equilibrium in hygroscopicity measurements, and it may be that in some cases the air assists the heat transfer. These difficulties are not nearly so acute at 50 per cent humidity recommended by Puri, Crowther and Keen [1].

The fourth column of Table I gives the osmotic pressure calculated from the humidities by the usual formula

$$P = -RT \log_e h/18$$

while the fifth column gives the normality of the sodium chloride solution having the same relative humidity calculated from the approximate formula

$$,036\ n = -\log_e h.$$

[1] Puri, Crowther and Keen. J. Agric. Sci., 1925, *15*, 68.

According to Bouyoucos, wilting of wheat in his clay soil occurred at about $m = 23$, which the table shows to correspond to a sodium chloride concentration of only ,04 normal. Although sea water (0,6 normal) is «physiologically dry» plants show no distress in water cultures at ,04 normal. This confirms the conclusion which has been drawn from the dependence of wilting on atmospheric conditions that the limiting factor is not the osmotic «suction» force which the root-hairs are able to exert but the permeability of the compact soil masses in which the water is stored, which falls off very steeply as water is withdrawn.

The size and form of the compact masses is an important aspect of soil structure. It is to be anticipated that the more finely broken the soil the more readily will plants be able to tap the stored water. Other considerations, however, make too fine a structure undesirable since drainage and aeration take place through the spaces between the compact masses, and if these spaces become too narrow water movement through them will be sluggish. Good structure is therefore a compromise between ready accessibility of the water stored within the compact masses and rapid removal of surplus water from the intervening spaces which, if it remained, would hinder aeration.

Two factors which affect the permeability of compact masses of heavy soils are the base exchange properties and the fineness of sub-division. These factors, together with the soil organic matter, also largely influence the stability of the soil structure. They therefore have a very important, though somewhat complex, influence on the availability of the stored water. The usefulness of mechanical analysis in this connexion needs no stressing, but the value of a knowledge of the base exchange capacity is less generally realized. This close connexion which exists between base exchange capacity, heat of wetting, and the moisture content at 50 per cent humidity, which has been illustrated by the author, indicates that all three methods measure essentially the same property [1]. The connexion here is of a fundamental nature and is quite distinct from the correlations which have been worked out between sticky point and loss on ignition or between clay content and 50 per cent. humidity moisture, which measure mainly the degree of homogeneity of type of the sets of soils examined. To the three quantities referred to above may now be added the apparent difference in density of soil according as it is determined in water or in an organic liquid, which has been investigated by Russell [2]. All these phenomena indicate that clusters of water molecules are held by powerful attractive forces near to the «spots» on the clay and

---

[1] Schofield Trans. 6th Com. Int. Soc. Soil Sci. Groningen, 1933, vol. B, p. 80.
[2] Russell. Proc. Roy. Soc. 1934 (not yet published).

organic matter at which base exchange takes place. This limited quantity of water is far too firmly held to be considered as contributing to the store of water available to plants, but a study of it and of the base exchange process is of great importance in connexion with permeability and structure stability.

Referring once more to Table I, it should be pointed out that the freezing-point depressions observed at high moisture contents are largely due to soluble salts. Indeed Bouyoucos regarded the salts as the cause of the depression throughout and considered that the soil affected the value obtained by rendering some water « unfree », i. e. not available for dissolving the salts. While the problem is complicated by the presence of soluble salts, the major part of the freezing point and vapour pressure depression appears to be due to a direct action between the soil and its water content. Owing to the presence of the salts, however, no indication is given in this set of figures of a saturation point of the soil. It may even be that no strict definition could be given for such a point, but it is well-known in practice that a soil in good structure with free drainage will take up rain water to a fairly well defined limit.

Water once taken up into the compact masses will not « run » away, and can only be abstracted in one of three ways :

i. It can be « sucked » out by plants;

ii. It can be « sucked » out by a neighbouring mass of dryer soil;

iii. It can evaporate from the surface of the soil mass.

It is interesting to consider a number of the traditional practices of English agriculture with particular reference to points *ii* and *iii*. The farmers' problem on the heavy soils, which are prevalent in the wetter parts of England, is to rid the land of a superabundance of water. Drainage is helpful if water would otherwise lie on the surface, but an important part of the surplus can only be lost by evaporation. The « unbroken furrow », so proudly turned by the skilful ploughman, is well adapted to its purpose. The March winds cause evaporation at the surface, and the furrowslice being well pressed into place is sufficiently compact for the drying soil masses at the surface to « suck » the surplus moisture from the interior. The rolling of wheat fields in Spring is doubtless effective because it re-establishes the contact of the surface masses which have been loosened by the frost and enables them more effectively to « suck » water from below, thus hastening the drying process. Mulching has, of course, the opposite effect.

The explanations offered for these familiar practices are not, of course, new, but those who have attempted to disclose the underlying physical basis have too often based their arguments on the supposition that *surface tension* is the force at work. An attempt has been made to show that the subject can be

discussed and developed on a quantitative basis without specific reference to surface tension. The author makes no apology for having confined himself to those aspects of the subject with which he is especially familiar, thus leaving it to other members of the Conference to fill in the many gaps in the course of the discussion. Even in the limited field that has been surveyed many problems await solution, and this review will have served its purpose if it provokes discussion and stimulates further research.

SUMMARY.

Soil acts as a reservoir of water which is available to plants. Some of this water may be held between the cleavage planes of the clay minerals. The free energy of binding of the stored water can be found from determinations of freezing point depression and equilibrium humidity. The first determination covers the moisture range for normal plant growth and indicates that the sharp decrease in permeability with falling moisture is a dominating factor in wilting. The moisture content at 50 per cent humidity and the heat of wetting are connected with base exchange, a cluster of water molecules being held rather firmly to the active «spots» where base exchange takes place. Base exchange capacity and fineness of sub-division largely influence the permeability of the compact masses in the soil, while these and also the humus content mainly control their structure stability. The circumstance that water within the compact masses will not drain away and can only be removed by suction of plants on neighbouring dryer soil, or by direct evaporation, has its reflection in traditional agricultural practices.

REPORT ON THE PRESENT POSITION OF HYGROSCOPICITY.

DETERMINATIONS AND PROPOSALS FOR CO-OPERATIVE WORK,

BY

Dr. L. SMOLIK,

BRNO, CZECHOSLOVAKIA.

Rodewald's hygroscopicity coefficient introduced into Soil Science by Mitscherlich (1) is a number giving the amount of water absorbed by the soil being in equilibrium with an atmosphere whose aqueous vapour tension is equal to that over 10 per cent SO^4H^2.

It characterizes the soil from the point of view of its power of attracting or maintaining a certain amount of water under exactly known conditions. In this direction, hygroscopicity is analogous to the air-dry moisture content (4), moisture equivalent, Keen's moisture content at 50 per cent relative humidity, etc. (3).

In Europe hygroscopicity is more commonly determined than in the U. S. S. R. or the U. S. A.

Hygroscopicity does not depend merely upon one component of the soil. Many experiments show us that it depends mainly upon the amount and character of the soil colloidal material and of the salts present. Both are variable in the soil profile and for this reason hygroscopicity determinations are very important for characterizing soils, especially when chemical analyses are also taken into consideration.

Hygroscopicity is not necessarily in close correlation with mechanical analyses or with the other physical properties of soils. The hygroscopic coefficient, is exactly reproducible, and has a significance for plant nutrition, drainage, etc.

The method for determining hygroscopicity was exactly that given by Mitscherlich and since that time has not materially undergone change. Recently, Kachinsky (2) proposed the use of a smaller amount of soil. Our own experience is in agreement with these proposals, since the hygroscopicity determination takes considerable time when exact constancy in weight has

to be reached. It is better to use a smaller amount of soil and to carry out the determination in triplicate, on account of the heterogeneity of soil samples.

It would be very useful to organize co-operative work so that institutes from various countries would carry out hygroscopicity determinations upon soil samples as recommended below and compare the results with other data characterizing the soils as was done by Keen (3). According to the results obtained, the Ist Commission might then recommend an official method for hygroscopicity determination to the Congress in 1935 and ask, as L. P. Rozov (5) suggests, that all analyses published in the Proceedings of our Society be accompanied by hygroscopicity data.

RECOMMENDATIONS.

The First Commission recommends the members of the Society to carry out parallel hygroscopicity determinations :

1. On two soil samples to be obtained from the General Secretary, Dr D. J. Hissink, Groningen, Holland.

2. On two soil samples to be obtained from the president of the Ist Commission, G. W. Robinson, Bangor, N. Wales, Gt. Britain.

3. On local soils.

The commission recommends that hygroscopicity be determined by the following modification of the Rodewald-Mitscherlich method :

10 g. of air-dried fine earth (3-5 g., with soils containing more than 4 per cent humus) are placed in a weighed shallow glass dish (diam. 4 cms, depth 1.5 cm) with a ground glass cover. The soil is weighed with in the covered dish. After this, the glass dish containing the soil and without cover glass is put on a glass triped, to which a manometer is attached, standing in a vacuum desiccator, in the bottom of which is 100 cc of 10 per cent SO^4H^2

After evacuating, the vessel is kept in a dark place at constant laboratory temperature.

After 2-3 days the air is let in through a wash bottle filled with 10 per cent SO^4H^2. The desiccator is opened and the glass dish containing fine earth is quickly covered with the glass cover. The SO^4H^2 is renewed by means of a pipette, and the desiccator is again evacuated and kept as above.

After a further three days, the desiccator is opened, as described above and the dish with the fine earth is covered with the ground glass cover and weighed

The weighed dish is again put in the desiccator, in which the SO^4H^2 is, for the third time, renewed and evacuated. This is repeated until the weight

is constant. After that, soils having not more than 4 per cent humus are dried out in drying oven. Organic soils (containing more than 4 per cent humus) are dried in an evacuate desiccator over P^2O^5.

From the data obtained on this way we obtain the moisture content (W) of soils air-dried in laboratory and also the hygroscopicity (W*h*) :

a = dish + ground cover glass;

b = dish + ground cover glass + fine earth air dried;

c = dish + ground cover glass + fine earth moistened in the vapour over 10 per cent SO^4H^2.

d = dish + ground cover glass + fine earth oven dried.

$$W = \frac{100\ [(b-a) - (d-a)].}{(b - a).}$$

$$Wh = \frac{100\ [(c-a) - (d-a)]}{(d - a).}$$

Results of experiments and, if possible, correlations of hygroscopicity with other data characterizing soils should be sent to the referee Dr Ladislav Smolik.

RESUMÉ.

Hygroscopicity characterises the soil from the point of view of its ability to attract or maintain a certain amount of water under exactly specified conditions, and is an important aid to soil description.

The method of Rodewald-Mitscherlich is recommended, with the modification that a smaller amount of soil is used. Details of working are given.

It is recommended that co-operative work should be carried out on samples to be circulated to those expressing their willingness to participate. Determinations should also be carried out on local soils.

REFERENCES.

(1) MITSCHERLICH. — Bodenkunde für Land- und Forstwirte, Berlin, 1923.

(2) N. A. KACHINSKY. — Neue Methoden zur Bestimmung einiger physikalichen Eigenschaften de Bodens, Second International Congress of Soil Science, 1930, I.

(3) B. A. KEEN and J. H. COUTTS. — *Single value* soil properties... Journa of the Agicultural Science, vol. XVIII, 1928, part IV.

(4) L. SMOLIK. — Comptes rendus, Rome 1924. Air-dry moisture content is about of half of the hygroscopicity.

(5) L. P. ROZOV. — Allgemeines Schema der Bodenuntersuchungen... IInd Intern. Soil Congress, VI, p. 168.

LES SOURCES SECONDAIRES
DE L'HUMIDITÉ DE LA TERRE ARABLE,

PAR

L. CHAPTAL,

DIRECTEUR DE LA STATION DE CLIMATOLOGIE AGRICOLE DE BEL-AIR (MONTPELLIER).

EAU DES PRÉCIPITATIONS.

On considère en général les précipitations : pluie, neige et grêle comme étant les seules sources de l'humidité de la terre arable pratiquement intéressantes. En arrivant à la surface du sol, la pluie, qui dans la plupart des régions cultivées est la précipitation la plus importante et la plus fréquente, se divise en quatre parties : une première est immédiatement reprise par l'évaporation, une deuxième ruisselle; une troisième s'enfonce sous l'influence de la pesanteur et va alimenter les nappes souterraines; enfin une quatrième reste dans les couches superficielles pour satisfaire aux besoins des plantes et entretenir l'évaporation du sol. C'est cette dernière qui intéresse le plus les agronomes. D'après les calculs qui ont été faits (Durand-Claye, Duclaux), elle représente au maximum les 4/7[e] de l'eau tombée.

Son importance relative est d'ailleurs très variable selon les lieux et les époques. La proportion de pluie absorbée par la terre dépend de divers facteurs et, en particulier, de la vitesse ou plus exactement de l'intensité de la chute (Houdaille, Lugeon).

La mesure de la pluie recueillie ne fait donc pas connaître sa hauteur efficace au point de vue cultural, qui est la quantité ayant pénétré dans le sol. Elle indique bien moins encore son influence sur l'humidité de la terre arable, c'est-à-dire son effet humectant. La dernière averse d'une période pluvieuse provoque, par déplacement, l'enrichissement en eau d'une couche plus ou moins profonde selon l'importance de la période pluvieuse; tandis qu'une averse semblable survenant au cours d'une période de sécheresse ne fait que mouiller la surface. La couche superficielle se desséchant beaucoup plus vite que les couches plus profondes, les deux pluies n'ont pas la même action sur l'humidité du sol : leur effet humectant est différent (Chaptal).

Il est établi (Maurice, de Gasparin, Daubré, Risler) que la quantité d'eau évaporée par une terre ou consommée par les végétaux qu'elle porte est bien supérieure à la portion des précipitations qui a pénétré dans le sol et peut

même dépasser leur hauteur totale. Dans le Midi de la France par exemple, pendant la saison chaude, l'écart entre la pluie et les besoins du sol et de la vigne (sans tenir compte de l'eau immobilisée dans les tissus et enlevée à la récolte) dépasse souvent 2.500 mètres cubes à l'hectare. On a pensé que ce déficit pouvait être comblé par l'eau des couches profondes s'élevant par capillarité et par distillation jusqu'aux assises superficielles (de Gasparin, Hilgard, Whitney, Harris, Robinson, etc.). Différentes observations et expériences ont montré qu'en réalité ce n'est que dans quelques cas particuliers que la montée de l'eau des couches profondes peut constituer pour les couches superficielles un apport sérieux (André, Maximow).

Ce mouvement ascendant, s'il était généralisé, serait en opposition avec l'opinion de plusieurs géologues et hydrologues (Martel, Lafosse, Houiller) qui ont constaté une diminution de la circulation superficielle des eaux et une augmentation de la circulation profonde. Il paraît de plus bien difficile d'assimiler le sol, avec sa structure hétérogène, à un faisceau de tubes capillaires plongeant dans de l'eau (Demolon). D'ailleurs pendant les saisons chaudes les lacunes de la terre arable sont en partie occupées par de l'air et il se forme dans les canaux séparant les particules une alternance d'index gazeux et d'index liquides, véritables chapelets capillaires (Jamin) qui contrarient considérablement l'ascension de l'eau.

La pluie, une fois passée dans le sous-sol, ne peut guère remonter avec une vitesse suffisante pour être un facteur important dans la croissance des plantes (Russel). C'est ce que confirment les expériences de Bouyoucos, Keen, Alway, Mac Dole, Launglin, etc. En l'absence d'une étroite relation avec une nappe aquifère inférieure, les mouvements dus à la capillarité sont de faible importance (Veihmeyer, Lebedeff). Les déplacements de l'eau sont surtout déterminés par la force de succion (Korneff, Bordas et Mathieu) dont l'action ne se fait du reste sentir que dans une zone relativement restreinte autour du point présentant la plus forte humidité.

EAU DES BROUILLARDS.

Lorsque, par suite d'une longue sécheresse, le débit des sources profondes est très réduit, parfois même nul, il n'est guère possible d'admettre que le sous-sol qui ne renferme plus d'eau libre est cependant assez humide pour céder aux couches superficielles une quantité d'eau appréciable.

A côté des précipitations on signale habituellement deux sources secondaires de l'humidité du sol : le brouillard dans les pays froids et humides, la rosée dans les régions chaudes à ciel pur.

Le brouillard est constitué par de petites sphérules composées d'un noyau solide : le plus souvent un grain de poussière ou un cristal de chlorure de

sodium, autour duquel est fixée une faible masse d'eau liquide (Aitkens). Ces gouttelettes opaques qui ont un diamètre compris entre 0 millim. 012 et 0 millim 035 et sont séparées par un espace environ cent fois plus grand que leur diamètre, descendent lentement vers le sol sous l'influence de la pesanteur.

La présence d'un noyau solide explique pourquoi les brouillards sont surtout fréquents aux environs des villes industrielles où les fumées sont abondantes et au voisinage de la mer où l'air contient de petits cristaux de sel. Il y a de 1 gr. 5 à 4 grammes de sphérules par mètre cube de brouillard, ce qui, étant donné leurs dimensions, correspond à environ 50 millions par mètre cube (Angot). Plus le nombre et les dimensions des gouttelettes sont grands, plus l'opacité du brouillard est forte. Sa persistance peut être favorisée par l'existence à la surface des sphérules d'une mince pellicule huileuse due aux vapeurs goudronneuses produites par la combustion incomplète de la houille.

En pratique il est très difficile de mesurer les quantités d'eau que les brouillards peuvent fournir au sol, l'intensité de cet apport étant très faible. On se contente, en général, d'enregistrer le nombre de jours de brouillard, en comptant comme jour de brouillard toute journée pendant laquelle la visibilité horizontale a été, à un moment donné, inférieure à 1.000 ou 1.500 mètres. Quant à l'intensité, on l'apprécie en notant la distance maximum à laquelle se trouvent les repères visibles. Les observations faites donnent 57 jours de brouillard pour Paris (Besson), 74 pour Lyon (Favrot), 19 pour Nancy (Millot), 10 pour Montpellier (Chaptal). Le brouillard est d'ailleurs un phénomène local dont la fréquence est fort variable en des lieux très rapprochés. C'est ainsi que, pour deux points assez voisins de la banlieue parisienne (Le Bourget et Villepreux), le nombre moyen annuel de jours de brouillard est dans le rapport de 35/10.

Le relevé du nombre de jours de brouillard, même s'il était complété par l'indication de l'intensité et de la persistance du phénomène, ne permettrait pas de savoir d'une manière précise la quantité d'eau que le brouillard peut apporter au sol.

A défaut de mesure directe il est cependant possible de se faire une idée de l'importance de cet apport. La vitesse de chute des gouttelettes liquides constituant le brouillard ne dépasse guère, à cause de leur faible masse et de la résistance de l'air, 1 centim. 25 à la seconde. Il suffit d'ailleurs d'un léger mouvement ascendant de l'air pour contrarier la chute et empêcher les gouttelettes d'arriver jusqu'au sol.

Le calcul montre qu'en admettant une vitesse moyenne de 1 centimètre à la seconde, la quantité d'eau que le brouillard dépose sur le sol n'atteint qu'exceptionnellement 0 millim. 1 à l'heure. Ce résultat correspond aux

observations faites à Montpellier où la quantité d'eau recueillie les journées de fort brouillard ne dépasse que rarement et de peu 0 millim. 2 et où la hauteur totale annuelle est au maximum de 30 mètres cubes par hectare. C'est un apport faible mais dont il convient de tenir compte, étant donné qu'il est complètement utilisé par les couches superficielles du sol. Malheureusement les brouillards sont surtout fréquents dans les régions humides, pendant l'automne et l'hiver, c'est-à-dire à un moment où la pluie ne fait pas défaut.

EAU DES ROSÉES.

La rosée, au contraire, surtout abondante dans les pays méridionaux, s'observe lorsque le temps est beau et relativement chaud. Quand la température de la surface des corps exposés au rayonnement nocturne s'abaisse au-dessous du point de saturation de l'air ambiant, sans que cet air descende, dans sa masse, à cette température, il se dépose sur les corps refroidis des gouttelettes d'eau qui constituent la rosée.

Dans les contrées où, par suite d'une grande transparence de l'atmosphère, le rayonnement nocturne est très intense, la température de la surface du sol est souvent, pendant la nuit, inférieure de 7 et 8 degrés et même plus à celle de l'air (Boussingault). C'est ce qui se produit en particulier dans les régions tropicales où les rosées sont beaucoup plus fortes que dans les régions tempérées et ont une action marquée sur la végétation. Déjà en Algérie et en Provence, les rosées compensent dans une certaine mesure la rareté des pluies et fournissent aux plantes une partie de l'eau nécessaire à leur développement (Viguier, Durand-Claye).

On a construit de nombreux appareils destinés à mesurer la quantité d'eau fournie au sol par la rosée (Hann, Houdaille, Kerner, Passerini, Pickering, Skinner, Eredia, Gamba, Puppo); les indications qu'ils ont données ne justifient pas l'importance que certains auteurs accordent à cette source d'humidité. Il est vrai que la plupart des roséomètres ou drosomètres préconisés ne sont pas pourvus d'organe enregistreur et que, par suite, ils ne font pas connaître la quantité totale de rosée qui s'est déposée, mais, seulement, la différence entre la quantité totale de rosée formée et l'évaporation nocturne. Cette dernière, bien que beaucoup moins importante que l'évaporation diurne qui est environ trois fois plus forte (Houdaille, Hepites), n'est cependant pas négligeable. Le dépouillement des graphiques météorologiques montre que certaines nuits pendant lesquelles le vent souffle par intermittences avec assez de violence, la température du sol descend au-dessous du point de rosée de l'air, calculé d'après sa température et son état hygrométrique. Dans ces conditions, il se forme certainement de la rosée; si on ne le constate pas, c'est que l'évaporation la consomme à mesure qu'elle se dépose.

D'après les mesures faites en Russie septentrionale, en Italie et en France, ce n'est qu'exceptionnellement que la quantité d'eau fournie par la rosée atteint en un jour o millim. 1; quant à la hauteur totale annuelle elle ne dépasse pas 10 millimètres, c'est-à-dire 100 mètres cubes à l'hectare dans la région méditerranéenne et seulement la moitié de ce nombre en Angleterre. L'intensité du dépôt est, du reste, très variable suivant la nature du terrain (Bigini).

Selon plusieurs auteurs (Badgley, Aitken, Russel, Hann), seule, une fraction de l'eau de rosée constituerait un gain pour le sol; la plus grande partie proviendrait de la vapeur d'eau de la terre et non de la vapeur d'eau de l'air. La nuit, à une très faible profondeur sous la surface du sol, la température est normalement supérieure à celle de l'air extérieur, il s'ensuit que l'air de la terre plus chaud monte et que la vapeur d'eau qu'il contient dans de fortes proportions se dépose à la surface du terrain. Les expériences qui ont été faites en vue de déterminer l'influence qu'ont sur le mouvement de l'eau dans la terre les différences de température des diverses assises du sol, ont montré que le déplacement qu'elles sont susceptibles de provoquer est insignifiant (Bouyoucos) et qu'il ne fallait pas attribuer cette origine à l'eau de rosée (Leick). Pour la rosée comme pour le brouillard, on peut, à défaut de mesure précise, évaluer la quantité d'eau apportée au sol.

Supposons qu'une terre ait à sa surface, par suite du rayonnement nocturne, une température de 2 degrés alors que la température de l'air est de 15 degrés. A 15 degrés un mètre cube d'air contient, s'il est saturé, 12 gr. 7 d'eau et si son état hygrométrique est de 90 environ 11 grammes, à 2 degrés il en renferme au maximum 5. Chaque fois qu'un mètre cube d'air passe de 15 degrés à 2 degrés il se dépose donc 6 grammes d'eau de rosée. Pour avoir un dépôt de o millim. 1, c'est-à-dire de 100 grammes par mètre carré de terrain, il faudrait, dans un air immobile, que le refroidissement se produise sur une hauteur de 18 mètres ou, en supposant que le refroidissement ne se fasse sentir que jusqu'à une hauteur de o m. 10, que l'air se renouvelle avec une certaine vitesse, condition défavorable à la formation de la rosée.

Dans les régions tempérées, l'influence des rosées sur la végétation n'est pas surtout due à la quantité d'eau qu'elles apportent mais à la nature de cette eau qui contient en dissolution des éléments utiles à la nutrition des plantes. Il faut toutefois reconnaître que le dépôt ne se produit pas seulement sur le sol mais aussi sur les végétaux, ce qui augmente considérablement la surface réceptrice (Hiltner). Les mesures de la rosée effectuées avec le drosomètre Raymond, dont la surface réceptrice se rapproche de celle d'une terre recouverte d'herbes, donne des résultats environ quatre fois plus forts que ceux indiqués comme représentant le dépôt à la surface du sol.

EAU DE CONDENSATION INTERNE.

Les hydrologues ne sont pas d'accord sur l'origine de l'eau des sources. Pour les uns, elle provient presque uniquement de l'infiltration de la pluie (Versluys), pour les autres, elle est surtout due à la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique à l'intérieur de la terre par suite de la différence de température qui existe entre l'air extérieur et les couches plus ou moins profondes du sol (Volger, Worre, d'Andrimont). Certains partisans de la théorie de l'infiltration reconnaissent cependant que les condensations internes contribuent à entretenir l'humidité dans les couches superficielles de la terre et compensent en partie les pertes résultant de l'évaporation du sol et de la transpiration des végétaux (Dienert). Il n'est pas douteux que, surtout pendant la saison chaude, il peut se condenser de la vapeur d'eau de l'air dans la terre arable dont la température est souvent inférieure au point de saturation de l'air; c'est une sorte de rosée interne qui se produit.

Quand on étudie à différentes profondeurs, la température d'un sol cultivé, on constate qu'à partir de o m. 50 la variation diurne est en général peu marquée, étant inférieure à quelques dixièmes de degré pour des oscillations thermiques journalières de 15 degrés dans l'atmosphère.

A Montpellier, pendant les mois d'avril, la moyenne de la température du sol à o m. 50, o m. 75 et 1 mètre, est d'environ 12 degrés (Houdaille), ce qui correspond à une tension maxima de la vapeur d'eau de 10 millim. 48. Il s'ensuit que, chaque fois que la température extérieure dépasse 20 degrés avec un état hygrométrique au moins égal à 60, conditions fréquemment réalisées dans la région à cette époque de l'année, l'air en pénétrant dans la terre y dépose de l'eau. En juillet, la température du sol variant entre 21 et 23 degrés, il suffit pour qu'il y ait dépôt que la température extérieure atteigne 32 degrés avec un état hygrométrique de 55. Le calcul indique que dans 1 mètre cube de terre à 22 degrés, ayant un tiers de son volume occupé par des gaz, le remplacement de ces 333 litres de gaz par de l'air à 33 degrés et à un état hygrométrique de 60 donne un dépôt de o gr. 65 d'eau. Avec des états hygrométriques plus élevés, l'écart de température restant le même, le dépôt peut atteindre 6 grammes par mètre cube de terre.

Pour si faible que soit la quantité d'eau condensée à chaque renouvellement complet de l'air du sol, elle peut devenir intéressante si le phénomène se répète un assez grand nombre de fois, c'est-à-dire si l'aération est assez intense. La différence de composition entre l'air extérieur et l'atmosphère des sols favorise la diffusion et fait que ces échanges sont normalement assez actifs (Worre, Leather). L'observation a montré que même dans un sol assez argileux, à une profondeur de 3 mètres, la pression de l'air est la même qu'à

l'extérieur. C'est la preuve que les couches situées à cette distance de la surface sont cependant assez facilement en communication avec l'extérieur (Bouyoucos, Mac Cool). On sait aussi qu'il suffit d'une différence de température de 1 degré entre les deux faces d'un mur de pierre de 0 m. 72 d'épaisseur pour qu'en une heure il soit traversé par 2 m. 80 d'air par mètre carré de surface (Pasteur Dr E.).

L'intensité de l'aération du sol dépend de sa composition et de sa teneur en eau, la proportion d'air et celle d'eau variant en sens inverse. La grosseur des éléments terreux, tant qu'elle ne descend pas au-dessous d'un certain minimum, n'a qu'une importance secondaire, mais une couche d'argile peut la réduire à 1/100e (Romell). Très facile dans les sables secs, elle est très lente dans les sables humides (Deherain et Demoussy), et dans un sol saturé d'eau elle peut être réduite à 1/10.000e de sa valeur habituelle. Dans les conditions normales, pour un champ cultivé, l'aération correspond à un renouvellement complet jusqu'à une profondeur de 0 m. 20 une fois par heure (Sjostrom Stoklasa).

En prenant les chiffres précédemment indiqués et en se basant sur cette intensité de l'aération, on voit que le dépôt possible correspond à une hauteur de pluie qui ne dépasse pas 0 millim. 02 par 24 heures, soit 20 grammes par mètre carré. Il ne semble pas, d'après ces résultats, que la condensation de la vapeur d'eau à l'intérieur du sol puisse avoir l'importance que certains lui attribuent tant au point de vue agricole qu'au point de vue hydrologique. Il est vrai que l'on confond souvent, sous le nom de condensation interne, deux sources cependant bien distinctes de l'humidité du sol : les condensations internes proprement dites, dues au refroidissement et les dépôts aqueux dus à l'adsorption. Ce sont les dépôts d'adsorption plutôt que les condensations qui produisent l'augmentation de poids de certaines pierres calcaires exposées en plein air (Alquier); augmentation qui, pour des cailloux semblables, est proportionnelle à leur surface de contact avec l'air (Pasteur Dr E.).

EAU D'ADSORPTION.

La terre, comme beaucoup de corps solides, possède la propriété de fixer par adhérence superficielle la vapeur d'eau de l'air sans que ce dernier soit saturé. Cette propriété est connue depuis longtemps sous le nom d'hygroscopicité du sol (Schübler, Babo, Hervé-Mangon, Schlœsing, Risler et Wery). Il est malaisé de se rendre compte de la quantité d'eau qui peut être ainsi apportée à la terre étant donné la difficulté d'établir une distinction entre l'eau d'adsorption, l'eau de rosée et l'eau de condensation interne que l'on a quelquefois groupées sous le nom de condensations occultes (Descombes).

Dans la région méditerranéenne, tout au moins, les dépôts par adsorption sont beaucoup plus importants que les autres. Alors que la rosée y est un phénomène accidentel plus ou moins fréquent, la fixation superficielle y est un phénomène régulier et continu.

L'origine différente de ces dépôts aqueux a été mise en évidence par une série d'expériences effectuées depuis 1921 à la Station de physique et de climatologie agricoles de Bel-Air, près Montpellier. Deux drosomètres type Raymond ont été placés l'été, par beau temps, sur le sol, l'un en plein air, l'autre sous un panneau en bois disposé horizontalement à 1 mètre au-dessus de l'appareil. Étant donné la théorie de la rosée, le panneau réduisant dans de très grandes proportions le rayonnement du drosomètre situé au-dessous, ce n'est que tout à fait exceptionnellement qu'il doit se déposer de la rosée sur celui-ci. Des observations faites pendant les mois de juillet et août ont montré que :

1° Le drosomètre abrité accuse au contraire une augmentation quotidienne de poids correspondant à un apport journalier moyen de 2.000 litres à l'hectare;

2° Les jours où l'observation directe permet de constater de la rosée sur le sol, l'augmentation de poids du drosomètre non abrité est plus grande que celle du drosomètre abrité de un tiers environ.

La principale cause de l'augmentation de poids des appareils n'est donc pas la rosée proprement dite mais l'adsorption de l'humidité atmosphérique.

On a aussi différencié ces deux phénomènes et déterminé leur importance relative en étudiant les variations de poids d'un échantillon de terre sèche mais non desséchée, de 2 kilogrammes environ, en fonction de sa température et de la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère. On arrive ainsi à connaître la durée et l'intensité réelles de la rosée.

Au mois d'août, pendant neuf belles journées consécutives, on a enregistré 104 heures de dépôt ayant donné un total de 59 m. c. 1 par hectare. Sur ces 104 heures il n'y a en a eu que 6 de rosée proprement dite, c'est-à-dire pendant lesquelles la température de la terre a été égale ou inférieure au point de saturation de l'air. L'eau recueillie pendant ces 6 heures correspond à 2 m. c. 88 à l'hectare. Les différences, 98 heures et 56 mètres cubes, représentant l'apport dû à l'adsorption. Le 30 août à 14 heures, on a enregistré un dépôt alors qu'il y avait un écart de 40 degrés entre le point de rosée de l'air et la température de la surface du sol.

L'adsorption commence habituellement à être visible vers 14 heures et continue à se manifester jusqu'au lendemain 6 heures. Entre le début et la fin il y a souvent des périodes d'arrêt, même des périodes pendant lesquelles l'évaporation l'emporte sur la fixation. La durée journalière moyenne est

d'environ 12 heures et l'intensité quotidienne est voisine de 6 m. c. 5 par hectare, ce qui fait pour les trois mois d'été 598 mètres cubes (Chaptal).

Ce nombre, bien que relativement grand, est très inférieur à la réalité. Dans les expériences qui ont servi à le déterminer, on n'a considéré la terre que sous quelques centimètres d'épaisseur alors que, dans le sol en place, le dépôt peut se produire dans toute la couche aérée. Le calcul montre que chaque fois que sous l'influence de l'humidité de l'air, la teneur en eau du sol augmente de 1 p. 100 (phénomène qui se produit fréquemment dans le Midi de la France pendant les nuits d'été), la quantité d'eau fixée sur une profondeur de 0 m. 10 = 13 mètres cubes à l'hectare, soit le double du nombre trouvé dans les expériences effectuées. C'est ce qui explique que Marié-Davy ait constaté qu'un wagonnet de terre exposé en plein air s'enrichissait en eau pendant la nuit et que Jager Gerlings ait observé la possibilité d'accroissement nocturne de l'humidité de plusieurs échantillons de sable mouvant.

Au point de vue agricole, il faut ajouter à l'eau adsorbée par le sol l'eau que fixent toujours, par adhérence superficielle, les organes aériens des végétaux (Viquesnel, Fournel, Brine, Marloth, Perez, Zamfirescu).

Il était important de savoir si l'eau adsorbée par la terre restait adhérente à la surface des particules à l'état d'eau d'hygroscopicite inutilisable par les plantes ou si elle pouvait, à un moment donné, prendre la forme d'eau de capillarité ou d'eau libre et constituer ainsi pour le sol un gain pratiquement intéressant.

CAPTATION DE LA VAPEUR D'EAU ATMOSPHÉRIQUE.

La mise à jour des 13 collines de pierres concassées qui, dans l'antiquité, alimentaient les 114 fontaines de la ville de Théodosia (Hitier) et l'expérience suivante faite à Montpellier (Chaptal) permettent de répondre affirmativement.

Au-dessus d'une plate-forme carrée en ciment imperméabilisé mesurant 3 mètres de côté on a entassé sur une hauteur de 2 m. 50 des pierres calcaires non marneuses cassées en morceaux irréguliers ayant des dimensions comprises entre 0 m. 05 et 0 m. 10. L'ensemble qui a l'aspect d'un tronc de pyramide quadrangulaire, est recouvert par un enduit en béton dans lequel sont ménagés, vers la base et vers le sommet des trous d'aération. La plate-forme est légèrement inclinée vers le centre et de la partie la plus basse part un conduit aboutissant à un réservoir étanche creusé dans le sol.

Déduction faite de l'eau apportée par les précipitations, ce petit capteur de l'humidité atmosphérique a fourni, pendant la période avril-septembre 1930 : 87 litres 835 d'eau et, en 1931, les conditions ayant été moins favo-

rables : 40 litres 510. Le rendement quotidien maximum a été 2 litres 528, 28 fois il a atteint 1 litre en 24 heures, 4 fois plus de 2 litres.

Les observations effectuées montrent que, pendant les périodes de dépôt, la température à l'intérieur du capteur est toujours supérieure de plusieurs degrés à la température minimum de l'air extérieur et à plus forte raison à celle des corps exposés au rayonnement. Ce n'est donc que tout à fait exceptionnellement qu'il peut se produire pendant la nuit, à l'intérieur du tas de cailloux, de la rosée proprement dite. On n'a d'ailleurs constaté aucune concordance entre la quantité d'eau recueillie et la production d'une rosée plus ou moins abondante sur le sol environnant.

Le jour, l'écart assez grand qui existe entre la température maximum de l'air et la température du capteur pourrait parfois permettre la formation d'un peu de rosée à la surface des pierres à condition que l'humidité de l'atmosphère soit assez élevée. Comme les variations quotidiennes de l'état hygrométrique sont normalement opposées à celles de la température, au moment où la différence de température entre l'air et le capteur est maximum l'état hygrométrique est minimum et ce n'est encore que tout à fait exceptionnellement qu'il peut se former ainsi un peu de rosée sur les cailloux. L'eau recueillie est donc de l'eau d'adsorption qui prend, à un certain moment, la forme d'eau libre et s'écoule sous l'influence de la pesanteur.

Ces remarques permettent de présumer comment se produit dans le sol la captation de l'humidité atmosphérique. La tension superficielle maintient l'eau d'adsorption adhérente à la surface des particules de terre qui sont ainsi entourées d'une mince pellicule liquide (Hall, Demolon). Lorsque la température s'élève, la tension superficielle diminue; l'action de la pesanteur restant constante, la pellicule liquide tend à s'épaissir vers la partie inférieure aux dépens des autres régions. Quand la masse d'eau accumulée à la partie la plus basse est suffisante, il se détache une goutte qui, protégée par la particule de terre qui la surmonte et de laquelle elle provient, échappe à une évaporation immédiate et prend, suivant l'état d'humidité du sol, la forme d'eau de capillarité ou d'eau libre. L'eau adsorbée devient ainsi utilisable par les plantes et constitue un gain réel pour la terre. Si la température baisse, ce n'est pas la goutte libérée qui va renforcer l'épaisseur de la pellicule hygroscopique, c'est une nouvelle quantité de vapeur d'eau atmosphérique qui est captée et fixée à la surface des particules. Ce qui confirme cette théorie, c'est que, dans le capteur, toutes les autres conditions étant égales, ce sont précisément les journées les plus chaudes que le rendement est le plus élevé.

La nature calcaire des cailloux utilisés dans l'expérience précédente paraît indiquer, en outre, que, dans le sol, l'adsorption ne doit pas être uniquement l'apanage des éléments colloïdaux. Si l'argile et les matières organiques sont

les éléments fixant le plus facilement la vapeur d'eau atmosphérique, ce sont aussi ceux qui la retiennent le plus et qui, par conséquent, enrichissent le moins la terre en eau utilisable.

En prenant comme surface totale des particules de terre les chiffres indiqués par Garola, Houdaille, Sémichon, Hall et en se basant sur l'augmentation de poids constatée dans les expériences faites à Montpellier, on voit que l'eau adsorbée correspond à une épaisseur de l'ordre de 300 U. A., c'est-à-dire à une épaisseur comparable à celle que fixent par adsorption le verre et les surfaces métalliques (Stromberg R.).

IMPORTANCE DES SOURCES SECONDAIRES DE L'HUMIDITÉ DU SOL.

Dans certaines régions, notamment dans le Midi de la France, les sources secondaires de l'humidité du sol, dont la principale est la captation de la vapeur d'eau atmosphérique, peuvent apporter à la terre, pendant les périodes de sécheresse, des quantités d'eau importantes parfois supérieures aux précipitations.

Ce sont les sources secondaires, non les précipitations, qui permettent la culture des légumes dans plusieurs îles de la mer Egée où les précipitations sont rares et qui font que, dans des pays secs, on voit des arbres se développer au sommet des tours de certains édifices.

Au milieu du siècle dernier, Sachs est parvenu à maintenir en végétation, pendant les mois de juin et juillet, dans une terre argileuse préalablement desséchée, des *phaseolus multiflorus* qui ne recevaient aucun arrosage. Ces plantes étaient simplement approvisionnées en eau par la vapeur qui s'échappait d'une mince couche d'eau placée dans un récipient voisin.

Étant donné l'intensité que peuvent parfois présenter les sources secondaires, il n'est pas surprenant que le débit total de certains cours d'eau arrive à dépasser le total des pluies et des neiges tombées dans l'ensemble du bassin d'alimentation (Forel, Moisenet) et que le rapport entre le total des précipitations et le débit des cours d'eau soit plus faible quand on considère l'ensemble de l'année que lorsqu'on laisse de côté la saison chaude (Dienert). Pour expliquer cette dernière remarque, il faut admettre que d'autres sources que les précipitations viennent compenser l'intensité de l'évaporation estivale.

On trouve encore la manifestation de la captation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les amas d'eau douce qui existent au bas de certaines dunes littorales et terrestres de Tunisie (Ginestous), de la région du Grand Erg (Lugeon) et des environs d'Ouargla (Czekalsky) et aussi dans l'origine de plusieurs sources superficielles que l'on rencontre dans les Grès du Liban

(Carles), dans les dunes des environs de Bizerte et en Tripolitaine (Hegly), dans les Hauts Plateaux algériens (Alquier) et dans le Roussillon (Mengel).

Les viticulteurs méridionaux connaissent «les bons effets des façons culturales d'été qui permettent à l'air de pénétrer jusqu'aux racines et de déposer au contact de ces dernières l'eau qui sera absorbée par les végétaux» (A. Chaptal, Marié-Davy) et ils ont souvent constaté, qu'en période de sécheresse, les vignobles situés sur les coteaux caillouteux souffrent moins que les vignobles de la plaine. On sait que, pendant la saison chaude, des terres drainées présentent parfois une humidité relative plus grande que les terres voisines non drainées (Menger) et qu'il peut même s'écouler de l'eau par les tuyaux de drainage (Hall).

Dans certaines contrées, on protège les oliviers contre la sécheresse en les entourant d'une murette en pierre sèche destinée à capter la vapeur d'eau atmosphérique; c'est en employant un procédé analogue que, dans l'Asie Centrale, on réussit à cultiver la vigne dans des régions où il ne tombe pas 500 millimètres d'eau (Tupikoff).

L'eau recueillie dans les foggaras superficielles de Tunisie, dans les rotaras du Maroc (Ginestous) et autrefois dans les condensateurs de Théodosia, est une preuve de l'intensité que peuvent présenter, quand des conditions favorables sont réalisées, les sources secondaires de l'humidité du sol.

On pourrait croire que la question de l'origine de l'humidité de la terre arable ne présente pour les pédologues qu'une importance secondaire. Quand ils veulent connaître l'humidité d'un sol, ils dosent l'eau qu'il renferme ou mieux font une détermination sur place de son humidité et sont beaucoup plus préoccupés par l'état de cette eau que par son origine. Ces procédés conviennent quand on a besoin de savoir, avec le plus de précision possible, la teneur en eau d'une parcelle donnée mais les résultats obtenus ne peuvent pas être généralisés et ils ne fournissent aucune indication sur les conditions d'humidité relative de l'ensemble des sols d'une région.

Au contraire, en mesurant par des méthodes appropriées l'intensité des diverses sources d'humidité et en évaluant, suivant des règles conventionnelles à mettre au point, leur effet humectant sur une terre standard, on obtiendrait des données moins réelles mais plus générales et ayant une plus grande signification écologique.

Ces méthodes et ces règles ne peuvent être établies que par la collaboration des pédologues et des bioclimatologistes qui, étudiant à des points de vue différents le milieu physique dans lequel vivent les plantes cultivées, se retrouvent devant certains problèmes de la physique du sol qui constituent pour eux un domaine commun.

SUMMARY.

Rainfall is generally considered to be the principal source of soil moisture. The proportion available for the use of plants is affected by the intensity of the rainfall, the rate of absorption by the soil, and by the rate of evaporation.

It has long been recognised that moisture may rise to the surface from lower layers by capillarity and by distillation; but it is only in exceptional cases that these sources can be of importance.

Mist and fog in cold countries, and dew in hot countries can furnish moisture to soils, but it is shown that these sources cannot be very appreciable.

A more important secondary source of moisture, at least in Mediterranean regions, is adsorption, which takes place, even from atmospheres which are below saturation. Hygroscopic moisture may pass over into capillary moisture with rising temperature and thus become available for plants.

In an experiment, 10 cb. metres of limestone pebbles were enclosed in concrete with holes to permit access of air and with an arrangement to collect water draining down. During the hot season, 88 liters of water, with a maximum of 2.5 liters per day were collected. This phenomenon is distinct from condensation, since it occurs when the adsorbing material is warmer than the surrounding air, and is due to the transference of hygroscopic moisture into capillary and ultimately into gravitational water.

The importance of this source of moisture in hot climates is emphasised.

BIBLIOGRAPHIE.

ALQUIER. — Hydrogénèse des pays chauds. (C. R. Congrès de l'eau, Alger, janvier 1928).

ALWAY F. et MAC DOLE G. R. — Rapports entre la capacité d'eau d'un terrain et son coefficient d'hygroscopicité. (*Journal of Agricultural Research*, 1917, IX, 27.)

ANDRÉ. — Propriétés générales des sols en agriculture. (A. Colin, Paris, 1923.)

ANGOT. — Traité élémentaire de météorologie. (Paris, Gauthier-Villars et Cie.)

BESSON. — Fréquence du brouillard à Paris et dans les environs. (*Annales des Services techniques d'hygiène de la Ville de Paris*, 1931.)

BIGINI E. — Alcune osservazioni sulla condensazione della rugiada sul terreno. (*Le stazioni sperimentale agrarie italiane*, 1926, vol. 59, fasc. 4, 5, 6, 7, Modene.)

BORDAS (Jean) et MATHIEU (Gaston). — Recherches sur la force de succion des sols et l'irrigation souterraine. (*Ann. de la Sci. agr.* 1930, 192.)

BOUSSINGAULT. — Économie rurale considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie. (Tome I, Bechet Jeune, Paris, 1851.)

BOUYOUCOS. — Effet de la température sur le mouvement de la vapeur d'eau et sur l'humidité capillaire du sol. (*Journal of Agric. Res.*, 1915, 141.)

BOUYOUCOS et MAC-COOL. — The aeration of soils as influenced by barometric pressure changes. (*Soil Science*, 1924, vol. XVIII.)

BRINE. — Influence of forest on natural water supply. (Grahamstown, Colonie du Cap, 1908.)

CARLES.— L'hydraulique agricole et industrielle en Syrie. (*La Géographie*, 1923, t. XXXIX, Paris.)

CHAPTAL (A.) Comte. — Chimie appliquée à l'agriculture. (Maison Huzard, Paris, 1829.)

CHAPTAL (L.). — La mesure de la pluie en climatologie agricole. (*Annales agronomiques*, 1931, 1, 223-246.)

CHAPTAL (L.). — La rosée et les sources secondaires de l'humidité du sol. (*Annales de la Science agronomique*, 1928, p. 134 et 1930, p. 59.)

CHAPTAL (L.). — La captation de la vapeur d'eau atmosphérique. (*Annales agronomiques*, 1932, 2, 540.)

CZEKALSKY. — Définition et étude des climats locaux. (C. R. Congrès international de Géographie, Paris, 1931, t. II, p. 310-311.)

DAUBRE. — Commission des inondations. Rapports et documents. (Imprimerie Nationale, Paris, 1910.)

DEHERAIN et DEMOUSSY. — Recherches sur la perméabilité de la terre. (*Annales agronomiques*, 1896, XXXII-96.)

DEMOLON. — La dynamique du sol. (Paris, Dunod, 1932.)

DESCOMBES (P.). — L'influence du reboisement sur les condensations occultes. (*Bulletin de la Société météorologique de France*, 1920, fasc. II.)

DIENERT. — Hydrologie agricole. (Paris, Baillière, 1932.)

DIENERT. — Du rôle des pluies dans l'alimentation des nappes souterraines. (C. R. Académie d'Agriculture, 1921, 7, 97.)

DUCLAUX. — Cours de physique et de météorologie. (1891, A. Hermann, Paris.)

DURAND-CLAYE. — Hydraulique et génie rural. (1890, Tome I, Doin, Paris.)

EREDIA (F.). — Sulla misurazione della rugiada. (*Agricoltura coloniale*, 1915 anno IX, n° 12, dicembre.)

FAVROT. — Le brouillard à Lyon-Bron. (*La Météorologie*, 1932.)

FERRERO (L.-O.). — Sopra la determinazione della rugiada. (Caserta Stab. Tipo-Litografico della Minerva, 1884.)

FOREL. — Le Léman, monographie limnologique. (Lausanne, 1892-1895.)

GAMBA (P.). — Un nuovo tipo di drosografo per lo studio della rugiada. (*La Meteorologia pratica*, anno 1927, VIII, n° 1.)

GAROLA. — Contribution à l'étude physique des sols. (Durand, Chartres, 1903.)

GASPARIN (Comte DE). — Cours d'agriculture. — (Tome II, librairie agricole de la *Maison rustique*, Paris.)

GERLINGS (Jager). — La condensation de l'eau dans le sol. (*Tydschrift der Nederlandsche Heidemaatschappy*, A. 35, n° 9, Arnhem, Pays-Bas, 1923.)

GINESTOUS. — Les condensations occultes. (*La Tunisie agricole*, janvier 1929, n° 1.)

GINESTOUS. — L'hydrogénèse aérienne au Sahara. (*Le Colon français*, Tunis, 5 mai 1932.)

HALL et DEMOLON. — Le sol en agriculture. (Baillière, Paris, 1906.)

HANN (J.). — Lehrbuch der Meteorologie. (*Verlag von Chr. Herm. Tauchnitz*, Leipzig, 1915.)

HARRIS (F. S.) et ROBINSON (J. S.). — Facteurs agissant sur l'évaporation de l'eau du sol. (*Journal o agricultural research*, 1916, vol. VII, p. 439.)

HEPITES. — *Bulletin météorologique de l'Observatoire de Bucarest*, 1887.

HERVÉ MANGON. — Des propriétés physiques des terres arables. (*Annuaire de la Société météorologique de France*, année 1869.)

HILTNER (E.). — La rosée son rôle dans la constitution de la plante. (*Viss. arch. Landw.* a. 3 1 11 février 1930.)

Hitier (H.). — Condensations des vapeurs atmosphériques dans l'antiquité (C. R. Académie d'Agriculture, 11, 1925.)

· Houdaille. — Étude des pluies de 1885. (*Bulletin de la Commission météorologique de l'Hérault*, année 1886.)

Houdaille. — Mesure de la rosée et la marche diurne de l'évaporation. (*Annales de l'École nationale d'agriculture de Montpellier*, 1893.)

Houdaille. — Marche annuelle de la température du sol. (*Annales de l'École nationale d'agriculture de Montpellier*, année 1892, t. 7, p. 5)

Houdaille et Semichon. — Recherches sur la perméabilité et l'état de division des sols. (Ch. Boehm, Montpellier, 1893.)

Houillier. — Études de l'appauvrissement des sources. (*Annales de la Direction de l'hydraulique et des améliorations agricoles*, Ministère de l'Agriculture, 1907.)

Jamin et Bouty. — Cours de physique de l'École polytechnique. (Tome I, fasc. 2.)

Keen (B. F.). — Élévation capillaire de l'eau dans le sol. (*The journal of agricultural Science*, 1919, vol. IX, f. 4, Londres.)

Kerner (Von F.). — Ein Instrument zur Messung des Thauniederschlages. (*Meteorologisch Zeitschrift*, 1892.)

Kornieff (M. B.). — La capacité d'absorption du sol. — Appareils pour la mesurer : arrosage automatique. (*Ann. Sc. Agr.*, 1926, 353.)

Laposse. — Les eaux et les bois. (Payot, Paris, 1924.)

Lauglin MacW. W. — Distribution capillaire de l'humidité dans la terre. (*United States department of Agriculture*, department Bulletin.)

Leather (J. W.). — Étude des gaz du sol dans l'Inde britannique. (Memoirs of the department of Agriculture in India, *Chemical Series*, vol. IV, n° 3.)

Lebedeff. — Die Bewegung des Wassers im Boden und im Untergrund. (*Zeitz. f. Pflanz Dung, Bodenkunde*, 1927. 10, 1.)

Lebedeff. — The mouvement of ground and soils waters. (C. R. Congrès Science du Sol, 1 vol. Washington, 1927.)

Leick (Erich). — Zur Methodik der relativen Taumessung. (*Beihefte zum botanischen Centralblatt*, vol. XLIX, Ergänzungsband, 1932.)

Lugeon. — Précipitations atmosphériques écoulement et hydroélectricité. (Dunod, Paris, 1928.)

Lugeon (J.). — Condensation dans les dunes du Grand Erg. (C. R. Académie Sciences, Paris, 1930, 191, p. 218.)

Marié-Davy. — Météorologie et Physique agricoles. (Librairie agricole de la *Maison rustique*, Paris, 1888.)

Marloth. — Results of experiment on table mountain for ascertaining the amount of moisture deposed from the South-East clouds. (*Transaction of the South African philosophical Society*. octobre, 1903.)

Martel. — Sur l'enfouissement des eaux souterraines et la disparition des sources. (*Annales Direct. Hydraulique et Améliorations agricoles*, Ministère Agriculture, 1905.)

Mengel. — Du rôle de la condensation de la vapeur d'eau dans l'alimentation des sources. (C. R. Académie Sciences, Paris, 1931, t. 193, p. 1110-1113.)

Menger (Ch.). — L'humidité du sol est-elle augmentée par le drainage. (*Kultechn.*, 1931, 2, 118-127.)

Millot (C.). — Notions de météorologie utiles à la géographie physique. (Paris, Nancy, Berger-Levrault, 1901.)

Moisenet. — Le reboisement et les condensations occultes. (C. R. de l'Association française pour l'avancement des Sciences, Le Havre, 1914.)

PASSERINI (N.), prof.— Un dodicennio di osservazioni drosometriche. (Communication au Congrès international de météorologie, Venise, 1920.)

PASTEUR (Dr E.). — Hydrogénèse aérienne et terrestre. (*La Nature*, 1933, XLIV, 299.)

PEREZ. — Les précipitations par l'arbre des eaux de la bruine. (*Le Chêne*, 1919, n° 15.)

PICKERING (W. H.). — A year's Record with a Dew recorder at Mandeville. (*Quarterly journal of the Royal Society*, London, 1913.)

PUPPO (Agostino). — Di un evaporimetro registratore. (*Premiate officine Grafiche Carlo Ferrari*, Venezia, 1932.)

RAYMOND. — Sur la mesure et l'enregistrement de la rosée à Antibes. (*La Météorologie*, 1926, n° 19.)

RISLER et WERY. — Irrigations et drainages. (*Encyclopédie agricole*, Baillière, Paris.)

ROMELL (L. G.). — L'aération du sol. (*Revue internationale de renseignements agricoles*, Rome, 1922.)

RUSSEL. — Les conditions du sol et la croissance des plantes. (Traduit par G. Matisse, Flammarion, Paris.)

SACH (Julius Dr). — Physiologie végétale. (Traduction Marc Micheli, Paris, Masson, Genève, 1868.)

SAGNIER (H.). — La mesure de la rosée. (Journal d'Agriculture pratique, 1911, t. 22, p. 300.)

SCHLOESING. — Contribution à l'étude de la Chimie agricole. (Encyclopédie chimique, t. X, Dunod, Paris, 1888.)

SKINNER (S.). — The drosometer or measures of dew. *Quarterly Journal of the Royal Society*, London, 1912.)

STROMBERG (Raguar). — Adsorptionsmessungen mit einer verbesserten Mirrowage. (*Vetenskap sakademiens Handligar Tredge Serien Band*, 6 n° 2.)

TUPIKOFF. — Le problème de la culture de la vigne dans les régions arides. (*Progrès agricole*, n° 44, 47e année, 2 novembre 1930.)

VEIHMEYER. — Irrigation in relation to soil moisture and plant growth (*Agricultural Engineering*, 1927, vol. 8, n° 5, Saint-Joseph, Michigan.)

VERSLUYS. — Rapport général sur les questions concernant le sol et l'eau. (C. R. de la 6e Commission de la Science internationale du sol, Groningen, 1933, p. 177 et suivantes.)

VIGUIER. — Météorologie du Languedoc et de l'ensemble du bassin méditerranéen. (Société languedocienne de Géographie, t. II, mai 1879, Montpellier.)

VIQUESNEL et FOURNEL. — Sur l'évaporation négative. (*Annuaire de la Société météorologique de France*, année 1853.)

VOLGER (O.). — Die wissenschaftliche Lösung der Wasser, insbesondere der Quellenfrage mit Rücksicht auf die Versorgung der Städte. (*Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, vol. XXI, nov. 1877, Part II, p. 481-500.)

VOLGER (O.). — Vorbemerkungen zu einer neuen Würdigung der Quellenlehre des Aristoteles. (*Frankfurt a. M.*, 1877.)

WHITNEY. — Some physical properties of soils in their relation to moisture and crop distribution, (1892.)

ZAMFIRESCU (N.). — Recherches sur l'absorption de l'eau par les organes aériens des plantes. (*Bulletinul ministerului agriculturi Bucarest*, 1931, vol. III, n° 5, 6.)

RECHERCHES SUR QUELQUES GRANDEURS PHYSIQUES DU SOL*,

(BYDRAGE TOT DE KENNIS VAN EENIGE NATUURKUNDIGE GROOTHEDEN VAN DEN GROND)

PAR

S. B. HOOGHOUDT,

INSTITUT ROYAL DE LA SCIENCE DU SOL, GRONINGUE (PAYS-BAS).

I

INTRODUCTION.

Si l'on veut appliquer les grandeurs physiques, déterminées au laboratoire, au sol en place, il ne faut pas oublier que cela n'est possible que dans des cas spéciaux; en particulier, il en est ainsi lorsque les grandeurs considérées sont indépendantes de la structure du sol, ou bien quand il s'agit de sols qui, dans leur état naturel, sont dépourvus de structure ou possèdent la structure granuleuse. Pour ceux-ci (appelés dans la suite sols du premier groupe, ce sont surtout les sols sableux), l'état naturel du sol est suffisamment caractérisé par le volume des espaces lacunaires: tel n'est pas le cas des sols qui, dans leur état naturel, ont une structure spéciale (ces sols seront appelés dans la suite sols du second groupe; ce sont surtout les sols argileux). Pour appliquer les grandeurs obtenues au laboratoire aux sols du premier groupe, il faut les ramener aux conditions naturelles de ces sols en place. A cet effet, il est absolument nécessaire de connaître les rapports existant entre chacune de ces grandeurs et les facteurs déterminant les conditions naturelles. Pour les sols du second groupe, ces grandeurs physiques doivent être déterminées dans le sol à l'état naturel et, le plus souvent, à l'endroit même où il se trouve.

* Cet article n'est qu'un résumé. Je renvoie mes lecteurs à une publication, portant le même titre et publiée dans les *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen*, 1934, où ils trouveront des renseignements plus détaillés.

CHAPITRE I.

LA «SURFACE SPÉCIFIQUE». COMMENT ON LA CALCULE D'APRÈS LA COMPOSITION MÉCANIQUE DU SOL. LES GRANDEURS PHYSIQUES CHOISIES ET LES RAPPORTS AVEC LES FACTEURS IMPORTANTS À CET ÉGARD.

Pour les sols du premier groupe, c'est-à-dire généralement pour les sols sableux, la perméabilité, l'ascension capillaire maximum et la valeur μ de Porchet ainsi que la quantité d'eau retenue qui en dépend, sont, sans aucun doute, les valeurs physiques les plus importantes. On comprendra donc qu'elles sont en rapport plus ou moins intime avec la composition mécanique du sol; c'est pourquoi nous parlerons d'abord de la surface spécifique.

a. La surface spécifique.

Pour faire ressortir l'influence de la composition mécanique du sol, on doit l'exprimer par un seul chiffre. Zunker a indiqué à cet effet une grandeur très pratique : la surface spécifique, dont la meilleure définition est (1) : La surface spécifique (U^{cm}) est le chiffre qui indique combien de fois la somme des surfaces des particules d'un sol donné est plus grande que la somme des surfaces du même poids d'un sol dont les granules ont un diamètre d'un centimètre exactement (il faut, en outre, que les deux sols comparés aient le même poids spécifique et leurs granules la même structure). Cette surface spécifique, peut être calculée à l'aide d'une formule donnée par Zunker (2) :

$$(1) \qquad U_{cm} = \frac{0.4343 \left(\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)}{\log. d_1 - \log. d_2}.$$

Celle-ci n'est cependant valable que pour un ensemble de particules, dont les diamètres extrêmes ne diffèrent que très peu entre eux (d_1 est le diamètre le plus grand et d_2 le diamètre le plus petit).

En suivant la méthode utilisée à notre Institut, pour déterminer la composition mécanique du sol (traitement préalable avec HCl et H^2O^2, décantation des particules mesurant jusqu'à 16 μ au moyen de cylindres de décantation d'après Atterberg et division en douze fractions de la fraction sableuse (16-2.000 μ) par une machine Rotap, servant à agiter et à cribler le sol) ce calcul ne serait possible, en principe, que pour la fraction argile de 0-16 μ et pour la fraction sableuse, puisque CO^3Ca et l'humus en sont séparés. On ne peut jamais tenir compte de l'influence de l'humus sur U^{cm}, tandis que l'on ne peut calculer U^{cm} de la fraction argile que si on la subdivise en suffisamment de fractions et, surtout, si l'on connaît la limite inférieure des particules. Aussi

ne peut-on calculer en général que U^{cm} de la fraction sableuse et le sol sera caractérisé par la teneur en argile, en humus et en CO^3Ca et par U^{cm}_s de la fraction sableuse ramené à 100 p. 100 de cette fraction. Ce n'est donc que pour les sols à faible teneur en argile, en humus et en CO^3Ca qu'on peut s'attendre à ce qu'ils soient complètement caractérisés par U^{cm} de la fraction sableuse; c'est ce que nous avons en effet constaté.

b. La perméabilité.

La perméabilité est ordinairement définie par le coefficient de perméabilité résultant de la loi connue de Dupuit-Darcy :

(2) $$Q = K \frac{h}{l} F = KIF.$$

dans laquelle Q représente la quantité d'eau ayant traversé une colonne de terre d'un diamètre F et d'une hauteur l pendant l'unité de temps, tandis que h représente la différence de pression aux extrémités de la colonne de terre. On entend par $I = \frac{h}{l}$ la pente.

Cette définition n'est pas complète, même si nous ne considérons que le sol en place, puisque on n'a pas encore établi de facteur susceptible de modifier sensiblement la perméabilité, à savoir la viscosité de l'eau. A plusieurs reprises Zunker a signalé cette imperfection.

Outre la viscosité, d'autres facteurs influent sur la perméabilité. Plusieurs expérimentateurs ont essayé de les fixer en une formule. A cet égard, la polémique soutenue ces derniers temps par Kozeny et Zunker est d'une grande importance. Je me borne à noter ici qu'il s'agit, somme toute, de deux formules ne différant que très peu entre elles et qui ont été déterminées, toutes deux, de façon exclusivement théorique, sans que l'on sache encore exactement laquelle des deux est préférable à l'autre. Pour rendre cette concordance plus évidente nous avons remplacé dans la formule de Kozeny quelques facteurs par les lettres usitées par Zunker :

I. (Formule de Kozeny) :

(3) $$Q = \frac{\rho g h_s}{36 c \eta l U^2_{cm}} \cdot \frac{p^3}{(1-p)^2} \cdot F.$$

II. (Formule de Zuncker) :

(4) $$Q = \frac{g h}{72 m \eta l U^2_{cm}} \cdot \frac{p^3}{(1-p)^2} \cdot F.$$

En dehors des facteurs mentionnés ci-dessus, ρ représente la densité de l'eau; g l'accélération de la gravitation, h_s la différence des hauteurs manométriques aux extrémités de la colonne de terre (exprimée en centimètres; donc avec la dimension l), c est un facteur numérique, η représente la

viscosité de l'eau, p le volume total des espaces lacunaires, p_0 le volume des espaces lacunaires (5) dit effectif, c'est-à-dire sans air ni tension, h est la différence de pression exprimée en centimètres d'eau à 4° C. ou en grammes par centimètre carré aux extrémités de la colonne de terre mesurant l centimètres de hauteur et m est encore un nombre.

Abstraction faite des facteurs numériques et sans parler du fait que, dans la formule de Kozeny figurent les facteurs ρh^* et que, dans celle de Zunker, se trouve le facteur h — ce qui dépend exclusivement du choix des dimensions du coefficient K de perméabilité —, il n'existe d'autre différence entre ces deux formules que la présence du facteur p_0 respectivement au cube et au carré. Kozeny et plus tard Zunker ont insisté sur la dimension du facteur K. Pour cela, je renvoie à leurs publications. Il suffit de noter ici qu'il est possible de conserver à K les dimensions d'une vitesse, ce qui me paraît le plus logique. Si l'on exprime tous les facteurs dans le système C. G. S., on a : $h = h^*\rho g$ dynes/cm² et on peut remplacer la formule 2 par :

(5) $$Q = K\rho g\frac{h}{l}\cdot F.$$

Par la substitution de K' à $K\rho g$ la formule devient :

(6) $$Q = K'\frac{h}{l}\cdot F = K'IF.$$

dans laquelle K' a les dimensions de vitesse. Quand nous remplaçons ensuite la formule 3 par les formules 6 et 7 nous avons :

(7) $$K' = \frac{\rho g}{36\,c\,n\,F_w^2}\cdot\frac{p_0^3}{(1-p_0)^2}.$$

nous pouvons simplifier encore un peu cette formule pour des usages pratiques On peut remplacer $\frac{\rho g}{36\,c}$ par μ, puisque pour l'eau $\rho = 1$ et que g, pratiquement est aussi une constante, de sorte que K' n'en dépend plus (En appliquant cette formule à des gaz, il faudra ramener K', à une température et à un volume des espaces lacunaires déterminés, à une densité déterminée). La formule 7 devient ainsi la formule suivante, dans laquelle K' a été remplacé par K :

(8) $$K = \frac{\mu}{n\,F_w^2}\cdot\frac{p_0^3}{(1-p_0)^2}.$$

On comprend facilement qu'on peut également réduire la formule 4 à une formule analogue, si l'on attribue à K les dimensions d'une vitesse. Avec cette différence, bien entendu, que le facteur p_0 figure ici au carré, tandis que

le facteur μ y représente, bien entendu, une autre valeur que dans la formule 8. Pour examiner les limites dans lesquelles peuvent varier les erreurs de cette méthode de détermination — examen absolument indispensable et dont on ne s'est presque pas occupé jusqu'ici — et pour pouvoir considérer ces coefficients comme des grandeurs caractéristiques, *il faut toujours ramener ces coefficients K à une température déterminée (viscosité) de l'eau et à un volume des espaces lacunaires du sol déterminé.* J'ai choisi respectivement 10° C. (température moyenne de l'eau du sol jusqu'à une profondeur de 1 m. 25, et 35 volumes p. 100 (volume moyen des espaces lacunaires des sols sableux). Il faut donc ajouter cela à la définition d'après la loi de Dupuit-Darcy, bien que, pour les sols du premier groupe *considérés seulement dans leur état naturel* et pour les sols du second groupe on puisse négliger le volume des espaces lacunaires. Quand il s'agit de sols sableux, nous pouvons remplacer p_0 par p. On peut utiliser également la formule 8 pour calculer le coefficient K d'après la composition mécanique (donc d'après U^{cm}), quand le facteur μ est déjà connu. Il faut pourtant noter que ce facteur μ dépend de la structure des particules et des vides. Cette influence est donc à étudier, elle-aussi.

Ascension capillaire maximum.

Abstraction faite du terme maximum, il faut entendre par ascension capillaire H, la distance entre les surfaces capillaire et phréatique dans des sols homogènes (ayant donc la dimension l); par pression capillaire P la pression des ménisques dans les tubes capillaires, exprimée en dynes-cm² et ayant la dimension d'une pression $ml^{-1}t^{-2}$. En général, et en tout cas pour des usages pratiques, on pense à une longueur, c'est pour cela que je préfère le premier terme. Car on parle souvent d'une pression, mais en exprimant celle-ci en grammes (système technique); cette pression a, en pratique, la dimension d'une longueur, puisque la densité de l'eau est pratiquement 1.

Plusieurs expérimentateurs ont essayé de fixer également les facteurs déterminant cette grandeur par une formule. Ainsi Zunker (6) en a établi une qui, en principe, s'accorde avec celles d'autres expérimentateurs. Après avoir introduit un facteur ξ qui dépend de la structure des particules et des vides, on a :

$$H = \frac{6\alpha\xi}{\rho g}\cdot\frac{1-p}{p}\cdot 1 \ldots$$

Dans cette formule, à côté des facteurs déjà connus, existe le facteur α représentant la tension superficielle en dynes/cm.

$$\text{dimensions}\left|\frac{m l t^{-2}}{l}\right|.$$

Dans cette formule H a la dimension de la longueur, ce qui se conçoit si l'on prend pour U^{cm} une surface spécifique U^{r}. Ainsi un nouveau facteur $\frac{1}{r}$ serait introduit dans la formule. Il est compris dans le facteur numérique quand on se sert de U^{cm}.

Pour les usages pratiques $\frac{6\alpha\beta}{\rho g} = a$ est une constante.

Ainsi la formule 9 devient :

(10) $$H = a \cdot \frac{p}{p_0} \cdot U_{cm}$$

Quand il s'agit de sols sableux, de nouveau $p_0 = p$. Dans ce cas, pour déterminer les limites entre lesquelles varient les erreurs, il est nécessaire de ramener les ascensions capillaires données au volume même des espaces lacunaires. Comme base de réduction, il faut prendre de nouveau 35 volumes p. 100 et ensuite ajouter ce facteur à la définition de l'ascension capillaire maximum, excepté lorsqu'on ne veut étudier un sol que dans son état naturel.

d. Grandeur μ de Porchet et quantité d'eau retenue (W_{ha}).

Par grandeur μ de Porchet (7) pour ces sols, il faut entendre le pourcentage du volume ou la partie du sol dont, par suite de l'abaissement de la surface capillaire* l'eau s'est écoulée; par quantité d'eau retenue (W^{ha}), la quantité d'eau retenue par le sol et exprimée en grammes d'eau par 100 grammes de matière sèche ou en volume p. 100.

Dans le dernier cas, nous avons constaté que dans les sols où il ne se trouve pas d'air :

(11) $$p = \mu + W_{ha}$$

Quant à la grandeur μ de Porchet on n'a jamais essayé de déterminer, que je sache, par quels facteurs cette constante est définie. Pour la quantité d'eau retenue le cas est différent, puisqu'on a, du moins, tâché d'étudier de plus près ces rapports pour les capacités d'eau, obtenues par des méthodes différentes, quoiqu'on n'ait pas ou qu'on n'ait pu établir une formule. Il me suffit de considérer la capacité d'eau déterminée par Zunker (8) au

---

* On peut prendre également l'abaissement de la surface phréatique, pourvu que celle-ci soit à une profondeur de plus de H centimètres au-dessous de la surface. Quand il s'agit de sols du second groupe, on prend toujours la surface phréatique, cela va sans dire.

moyen d'une méthode de décantation. Cette grandeur se rapprochera beaucoup de la grandeur W_{ha} que j'ai déterminée moi-même, parce que les méthodes de détermination sont à peu près les mêmes. Zunker n'a pas établi de formule basée sur ces expériences; autant que j'ai pu le constater, la capacité d'eau déterminée par Zunker est à peu près proportionnelle à log. U^{cm}, tandis qu'on ne peut pas déduire *de ces expériences l'influence du volume des espaces lacunaires.*

CHAPITRE II.

DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA MÉTHODE SUIVIE POUR DÉTERMINER LES GRANDEURS ÉTUDIÉES. — REPRODUCTIBILITÉ ET L'IMPORTANCE DE L'ANALYSE PAR TAMISAGE. — COURTE DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS ANALYSÉS.

A. Méthodes de détermination.

1. *Détermination de la perméabilité.*

Les déterminations de la perméabilité ont été exécutées au moyen d'un appareil analogue à ceux utilisés par Zunker et Schönwälder (9). La différence avec l'appareil employé par ces expérimentateurs consiste en ce qu'au tube A ont été raccordés trois manomètres au lieu de deux, ce qui permet de mieux vérifier l'homogénéité du contenu; de plus, ce tube comporte une graduation à l'aide de laquelle on peut facilement lire le volume de terre introduite dans l'appareil. Pour la description détaillée de cet appareil, je renvoie mes lecteurs à la publication citée dans la note de la page 1. Les déterminations ont été effectuées à l'aide d'eau distillée.

Le remplissage du tube est effectué de façon à y introduire par parties la terre, soigneusement mélangée et séchée à l'air. Après chacun des remplissages partiels on frappe le fond du tube A (voir fig. 1) cent fois de suite contre la table. Après avoir rempli le tube, on fait monter l'eau dans le sol pour en expulser l'air. Puis on frappe le fond du tube A, rempli de terre mouillée, contre la table, jusqu'à ce que le volume du sol ne change plus. On lit alors le volume; il est ainsi possible de calculer le volume des espaces lacunaires. Cette méthode de remplissage donne les meilleurs résultats; mais je n'y insiste pas pour le moment.

Pendant la détermination de la perméabilité, on fait entrer l'eau du réservoir lentement, jusqu'à ce que l'eau superflue ne s'écoule que goutte à goutte du tube *a'*. Sous le tube *b'*, à l'aide duquel on peut faire varier la différence de niveau dans l'eau en le fixant à des hauteurs différentes sur un support, on met pendant un temps déterminé une fiole d'Erlenmeyer pour mesurer l'eau qui

a passé par la terre, tandis qu'on lit la différence de niveau sur le manomètre.

En général, nous avons calculé le coefficient K dans chaque détermination pour quatre différences de niveau, chaque détermination étant exécutée en

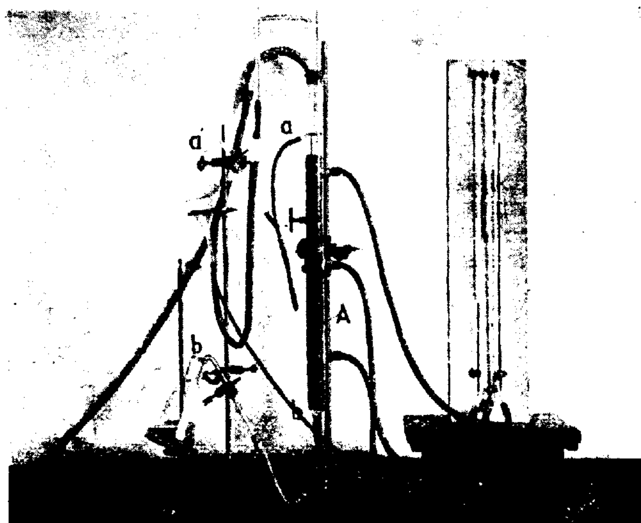


Fig. 1.

double, donc après deux remplissages indépendants. *Nous avons constaté ainsi que la loi de Dupuit-Darcy était approximativement exacte pour tous les sols analysés.* Le plus petit coefficient K qu'on puisse encore déterminer à l'aide de cet appareil, est d'environ 0,01 m. par 24 heures. Le coefficient le plus grand mesuré dans les échantillons analysés était de 100' mètres par 24 heures. Nous avons calculé le coefficient K en nous servant de la formule 6. Ensuite, nous l'avons ramené — aussi bien à l'aide de la formule 8 (de Kozeny) qu'avec une formule analogue de Zunker — à une température de l'eau de 10° C. et à un volume des espaces lacunaires du sol de 35 volumes p. 100.

2. *Détermination de l'ascension capillaire maximum.*

Les deux méthodes utilisées par nous, ont été indiquées par Engelhardt (10), qui, cependant, n'a pas parlé de la nécessité de déterminer aussi le volume des espaces lacunaires. Le capillarimètre comporte deux anneaux de cuivre que l'on a partiellement vissés l'un dans l'autre, après avoir placé entre eux un tamis et un morceau de toile, et en les fermant hermétiquement. L'anneau supérieur a exactement 2 cm. 26 de diamètre; puis, comme

la hauteur au-dessus du morceau de toile est de 5 centimètres, le volume de l'anneau au-dessus du morceau de toile est de 20 centimètres cubes. Pour la description détaillée de cet appareil, on peut consulter la publication mentionnée ci-dessus. Il faut encore ajouter que la pression capillaire du tamis et du morceau de toile doit être inférieure à la même pression dans le plus grossier des sols analysés.

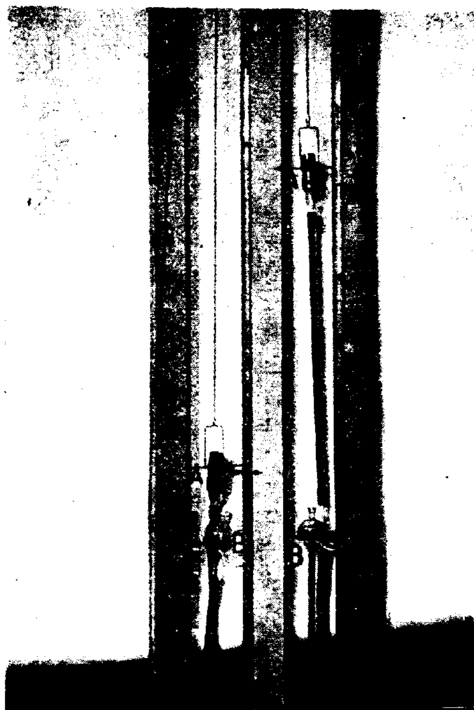


Fig. 20.

Dans cette méthode (première méthode ou méthode sans sous-pression d'air), on raccorde le tube A (fig. 20) du capillarimètre par un long tube en caoutchouc à un récipient de verre B qui sert de réservoir d'eau. Le capillarimètre, comme le récipient B, sont munis d'un anneau de cuivre dans lequel se trouvent attachées des chevilles qui, à leur tour, s'emboîtent sur des rails fixés sur un cadre de bois. On a également raccordé au capillarimètre une chaîne qui passe sur une poulie et avec laquelle on peut facilement fixer le

capillarimètre à chaque hauteur désirée. Pour le récipient B, c'est la même chose.

Pour effectuer la détermination on remplit d'eau le tube de jonction et le récipient B. Après avoir fait monter l'eau dans le capillarimètre jusqu'un peu au-dessus du tamis, on fixe le capillarimètre sur un support de façon qu'il se trouve à quelques centimètres au-dessus de la table où l'on place le récipient B. Pendant que l'eau du capillarimètre décroît lentement, on y met déjà un peu de terre en la foulant bien. Ensuite, on y introduit la terre par parties, tout en la tassant toujours bien et jusqu'à ce que le capillarimètre soit rempli jusqu'au bord. Puisque nous connaissons le volume de terre introduite dans le capillarimètre ainsi que son poids, nous pouvons calculer le volume des espaces lacunaires. Puis, on suspend le capillarimètre de nouveau aux rails et on le déplace chaque fois à une hauteur, qui dépasse de 2,5 à 10 centimètres (cela dépend de la valeur de H) la position antérieure, jusqu'à ce que l'air apparaisse sous le tamis. La distance entre le tamis et la surface de l'eau dans le récipient B indique l'ascension capillaire maximum. Il y a lieu de noter que l'emploi de cette méthode se limite aux hauteurs capillaires ne dépassant pas 300 centimètres environ.

En appliquant la seconde méthode (méthode à sous-pression d'air), le remplissage du capillarimètre se fait de la même façon. On l'adapte à l'aide d'un bouchon en caoutchouc sur un récipient cylindrique B (fig. 26), puis on fait marcher la trompe à eau et l'on ouvre le robinet dans le tube *c*, très peu pour que la sous-pression dans le récipient B n'augmente que très lentement. Dès que cette sous-pression est d'un demi-centimètre de mercure, on retourne le capillarimètre en sens inverse. Suivant la valeur de H, on fait toujours augmenter lentement la sous-pression jusqu'à ce qu'un courant continu de bulles de gaz commence à monter dans le tube *b* ou bien on ferme de temps en temps le robinet *c* pendant quelques minutes pour laisser plus de temps à l'équilibre pour s'établir.

Si la sous-pression est de *n* centimètres de mercure lorsque les bulles de gaz commencent à monter et si nous admettons que la densité du mercure, comparée à celle de l'eau est 13,6, nous avons :

(12) $$P = (13{,}6\,n - h)\,g\,\rho \text{ dynes cm}^2.$$

Dans cette formule *h* représente la longueur de la colonne d'eau dans les tubes *a* et *b*. Comme $P = H\rho g$, il en résulte donc :

(13) $$H = 13{,}6\,n - h \text{ cm}.$$

Cette méthode devient inexacte lorsque H dépasse 400 centimètres environ. Cela tient surtout à la présence d'air dans l'eau ou dans la terre, fait sur lequel Zunker (11) a attiré notre attention à juste titre.

Au-dessus de 400 centimètres, il est préférable d'avoir recours à une méthode avec *surcroît de pression*. Enfin, il faut encore ajouter que Engel-

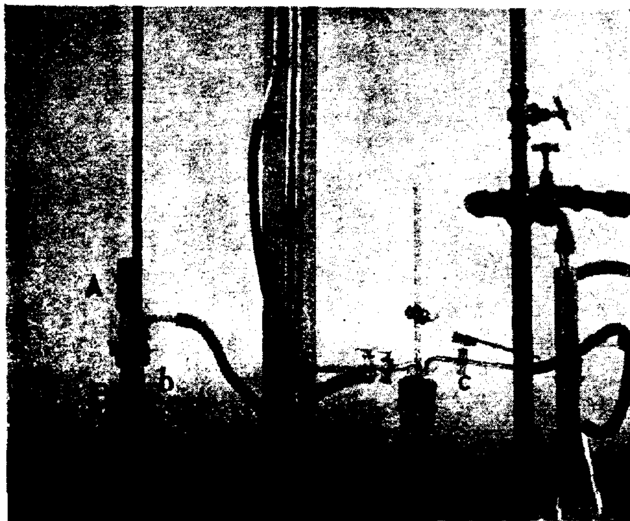


Fig. 4.

hardt (12) a constaté qu'au-dessus d'une certaine longueur de la colonne de terre dans le capillarimètre (± 20 mm.) la pression capillaire devient indépendante de cette hauteur de la colonne employée. Il a appelé cette pression capillaire la pression capillaire maximum. On peut trouver l'explication de ce phénomène — qui me paraît très juste — dans l'ouvrage cité ou bien dans ma publication mentionnée déjà plus haut. Aussi ai-je gardé ce terme «maximum», quoique le nom d'«ascension capillaire maximum» me paraisse plus conforme au sens qu'on y attache le plus souvent (chap. I. II c).

3. *Détermination de* W_{ha} *et grandeur* μ *de Porchet.*

L'appareil lui-même (fig. 3) comporte un entonnoir cylindrique de cuivre A, muni d'un tamis et d'une éprouvette de décantation B, calibrée et à l'aide de laquelle on peut évaluer la quantité d'eau récoltée à 0.1 cm³ près. L'entonnoir A a 20 centimètres carrés de diamètre intérieur; on peut donc facilement calculer le volume de la terre qu'on y a introduite. L'entonnoir A a été fermé par un bouchon de caoutchouc que traverse un petit tube de verre

formant angle droit et raccordé à des flacons laveurs de différents modèles (fig. 3) et dans lequel l'air aspiré est saturé de vapeur d'eau.



Fig. 3.

Pour effectuer la détermination, on met sur le tamis de l'entonnoir A deux disques de papier filtre. Les disques ainsi que l'intérieur de l'entonnoir sont bien humectés d'eau. Puis on fait passer l'air saturé de vapeur d'eau par l'appareil jusqu'à ce qu'il ne tombe plus de gouttes d'eau dans le tube B. Celui-ci est remplacé par un autre tube bien séché et l'on introduit 200 grammes de sol séché à l'air dans l'entonnoir, en le tassant toujours. On y verse ensuite 60 centimètres cubes d'eau distillée quand il s'agit de sols fins et 50 centimètres cubes quand on a des sols grossiers. Dès que des gouttes d'eau, ayant traversé la terre, tombent dans le tube B, on fait passer l'air saturé de vapeur d'eau à travers la terre. Après 5 à 10 minutes, ce qui dépend du degré de finesse du sol, on arrête la trompe à eau et on tasse la terre dans l'entonnoir une centaine de fois pour faire disparaître les canaux plus grands qui auraient pu s'y former. De nouveau, on fait passer de l'air à travers la terre, et ainsi de suite. On continue cette expérience jusqu'à ce que la quantité d'eau recueillie augmente de 0,2 à 0 cm^3 5 tout au plus. Ensuite, on mesure le volume de la terre afin de pouvoir calculer celui des espaces lacunaires. Puis, on détermine l'humidité dans une partie aussi grande que possible de la terre dans l'entonnoir et à une température de 105° C.; après quoi, on peut

calculer W_{ha}. On peut aussi calculer W_{ha} d'après la quantité d'eau récoltée par rapport à la quantité d'eau versée d'abord sur la terre.

En prenant la moyenne des chiffres obtenus pour W_{ha}, qui, dans quelques cas seulement, ne diffèrent entre eux que de 1 gramme, on élimine aussi l'influence d'une évaporation d'eau de la terre ou du tube B.

B. — Reproductibilité de l'analyse par tamisage. Description sommaire des échantillons analysés.

1. *Reproductibilité de l'analyse par tamisage.*

Pour contrôler les formules indiquées au chapitre I nous pouvons utiliser, en premier lieu, les fractions obtenues dans les analyses par tamisage, parce que celles-ci ne contiennent ni argile, ni humus, ni CO^3Ca; que la surface spécifique peut être calculée et qu'elles se composent en outre de particules dont les granules ont à peu près le même volume, raison pour laquelle on peut s'attendre à une structure homogène pendant les expériences. En se servant de ces fractions, on peut également contrôler parfaitement le volume des espaces lacunaires. Aussi, au début de ces recherches, j'avais à ma disposition deux séries de fractions, indépendantes l'une de l'autre, à côté de quelques fractions très grossières, du reste peu importantes. Ces fractions furent tamisées une seconde fois et nous avons ainsi constaté qu'aucune des fractions n'était absolument pure. Chacune contenait des éléments plus fins et plus grossiers que ne l'indiquaient les limites de la fraction analysée et cela jusqu'à une teneur totale de 10 à 20 p. 100. Cette analyse nouvelle des fractions donnait des résultats reproductibles (moins de 1,6 p. 100 par rapport à U^{cm}); il en résulte que l'analyse par tamisage offre des valeurs reproductibles. On pourrait supposer — bien que ce ne soit pas probable — que les fractions se sont mélangées. Pour vérifier cette supposition la fraction de 43-74 μ, qui avait été obtenue par le tamisage nouveau de la fraction 16-43 μ fut tamisée à plusieurs reprises pendant 20 minutes (durée normale du tamisage) et nous avons constaté que chaque fois, il en resta moins. Si, pendant le tamisage, il n'y a pas morcellement des particules, nous pouvons conclure qu'à chaque analyse nouvelle, des particules de cette fraction ont passé par le tamis à mailles de 43 μ. Il faut donc expliquer le fait que les fractions, obtenues par tamisage des échantillons, donnent, à une nouvelle analyse, des fractions plus fines et plus grossières que la fraction analysée et qui en dépassent les limites, par une question de hasard, et aussi par la structure des particules qui les fait soit rester sur le tamis soit le traverser. J'ai démontré qu'il n'y a pas morcellement pendant la durée normale de tamisage en analysant par décantation un échantillon, divisé en plusieurs

parties et en analysant ensuite par tamisage les fractions obtenues pendant des temps différents. Nous avons constaté que les résultats de l'analyse ne changent pas. C'est le cas — quoique de façon peu sensible — quand la même *fraction* est analysée par tamisage pendant un temps différent de la durée normale. Cela tient à ce que, dans ce cas, les limites extrêmes des particules sont beaucoup plus rapprochées l'une de l'autre, de sorte que d'infimes déviations de la forme sphérique peuvent exercer une influence sensible sur les résultats. Enfin, pour démontrer de façon absolument convaincante que le morcellement pendant la durée du tamisage n'a pas la moindre importance, mais que, par contre, la structure des granules joue un grand rôle, la fraction 43-74 μ fut tamisée pendant cinq minutes. La matière restée sur le tamis à mailles de 43 μ était de nouveau tamisée pendant cinq minutes, et ainsi de suite. Après cinq tamisages successifs des 10 grammes de la fraction de 43-74 μ du début, il ne restait que 7 grammes seulement. Toutes les fractions obtenues par ces tamisages furent mélangées soigneusement. Puis ce matériel destiné à constituer de nouveau la fraction originale si, du moins, le morcellement n'a pas eu lieu, fut tamisé encore une fois pendant cinq minutes. Les résultats furent absolument les mêmes que ceux de la première analyse de la fraction primitive, d'où il résulte qu'il n'y a pas eu morcellement et que la différence entre la forme sphérique et la structure est la cause du fait qu'à une nouvelle analyse on trouve encore des teneurs en particules dont le diamètre dépasse les limites extrêmes de la fraction analysée. Cette fraction ne s'est donc pas mélangée aux autres au moment où elle a été obtenue, ce qui, d'ailleurs, résulte également de ce que les résultats des deux séries de fraction indépendantes — chacune obtenue d'après des analyses de quelques centaines d'échantillons différents — s'accordent extrêmement bien. J'ai réussi à démontrer que la quantité de matériel originaire exerce une influence sur les résultats de l'analyse. En partant des quantités de 5 à 10 grammes, on ne pouvait pas démontrer de différence; en commençant l'expérience avec 50 grammes de matériel les résultats s'étaient sensiblement déplacés du côté des fractions plus grossières, comme je m'y attendais d'ailleurs. Il résulte de ces observations qu'il faut s'en tenir une fois pour toutes à la quantité choisie de matériel (10 gr.), et ne pas changer non plus la durée du tamisage (20 minutes), bien que celle-ci n'exerce pas une grande influence sur les échantillons. Dans une nouvelle analyse cette influence s'est pourtant manifestée, aussi vaut-il mieux que la durée du tamisage, elle aussi reste la même.

Il résulte de ce qui précède que les fractions elles-mêmes doivent être utilisées pour contrôler les formules de la perméabilité, etc., puisque, sans cela, le rapport avec les résultats de l'analyse par tamisage effectuée sur les échantillons isolés serait complètement rompu.

Mais le fait que les analyses par tamisage ne nous procurent pas de fractions absolument pures, rend pratiquement impossible l'application de la formule 1. Puisque l'analyse par tamisage donne des résultats reproductibles, nous pouvons admettre que, si on considère les fractions obtenues de cette façon comme absolument pures, cela mène tout au plus à des différences constantes entre cette surface spécifique et la surface spécifique réelle de ces fractions, différences qui, de plus, ne seront pas très importantes. Mais, du fait même que les fractions ne sont pas tout à fait pures, les facteurs μ et a dans les formules de la perméabilité et de l'ascension capillaire maximum ne sont pas des valeurs absolues, mais dépendent quelque peu des tamis utilisés. Aussi faut-il déterminer ces facteurs pour des tamis nouveaux, excepté lorsqu'on s'aperçoit que les résultats de l'analyse par tamisage, exprimés par rapport à U^{cm}, se rapprochent assez des résultats obtenus à l'aide des anciens tamis (cf. l'article du directeur de l'Institut de la Science du Sol : « Quelques remarques sur la méthode de l'analyse mécanique du sol », par D. J. Hissink).

2. *Description sommaire des échantillons analysés.*

Nous avons analysé au total plus d'une centaine d'échantillons. Nous les avons choisis de façon à avoir le plus grand nombre possible de sols sableux de différents types, plus de cent, c'est-à-dire d'origine et de composition différentes, mais provenant tous des Pays-Bas. Le plus souvent les quantités n'étaient pas suffisantes pour qu'on pût s'en servir pour effectuer toutes les déterminations consécutives; cela, nous le verrons par la suite, n'est pas absolument indispensable. Cependant, nous avons toujours effectué une détermination de la perméabilité et les deux déterminations de l'ascension capillaire maximum d'après la première méthode, sur l'échantillon même. Les résultats de ces expériences montrent clairement que les colloïdes argileux et humides irréversibles n'influent pas sur ces déterminations, du moins, cette influence n'est-elle sensible que dans la limite des erreurs. Lorsque l'échantillon a une teneur en argile plus grande, nous constatons pourtant qu'il possède, après un nouveau dessèchement, une perméabilité complètement différente. Cela tient à une peptisation des éléments argileux. Il n'y a pas non plus mise en liberté sensible d'argile ni d'humus, ce que nous avons constaté en analysant, pour plus de sûreté, quelques échantillons une seconde fois après y avoir effectué toutes ces expériences. Nous nous sommes aperçus que la composition mécanique s'était à peu près maintenue.

CHAPITRE III.

RÉSULTATS TROUVÉS À L'AIDE DES FRACTIONS AU MOYEN DE L'ANALYSE PAR TAMISSAGE. — CONTROLE DES FORMULES CONCERNANT LA PERMÉABILITÉ, LA CAPILLARITÉ, ETC.

1. *La perméabilité.*

Les analyses étaient faites, comme je viens de l'indiquer plus haut, au moyen de deux séries de fractions indépendantes, tandis que la détermination de la perméabilité de chaque fraction était effectuée en double. Les écarts présentés par les deux déterminations, exprimés en pourcent du coefficient moyen $K_{10}/_{35}$, ont été de 7 p. 100 tout au plus. Cet écart, qui représente le total des écarts provenant des structures différentes des cavités pendant les déterminations en double (erreur ne pouvant être corrigée en principe) et des erreurs ordinaires qui accompagnent chaque expérience (celles-ci en principe, peuvent être corrigées), est donc faible; il en résulte que cette détermination offre des valeurs reproductibles. L'écart moyen de toutes les fractions de chaque série de fractions est à peu près le même par rapport au coefficient $K_{10}/_{35}$ calculé d'après la formule simplifiée de Kozeny ou d'après celle de Zunker. Nous avons constaté la même chose pour les déterminations effectuées sur les échantillons ordinaires. En outre, si l'on songe que les volumes des espaces lacunaires déterminés en double diffèrent trop peu entre eux pour qu'on puisse constater, avec une précision suffisante, l'influence exercée par cette différence, il en résulte que l'on ne peut pas déduire de ces déterminations de conclusions sur l'exactitude de la formule de Kozeny comparée à celle de Zunker. Cela est cependant le cas quand on compare entre elles toutes les fractions d'une même série, puisque pour les fractions fines $p = 43$ p. 100 et pour les fractions les plus grossières p 35 p. 100. On peut calculer pour chaque fraction le facteur $\sqrt{\mu}$, aussi bien que la moyenne de ce facteur et les écarts, exprimés en pourcent, présentés par chacune des fractions par rapport à cette moyenne. J'ai donné à U_{cm} la valeur de la surface spécifique calculée d'après la formule 1 (chap. I, *a*). Les résultats figurent dans le tableau I; j'ai pris comme point de départ le coefficient moyen $K_{10}/_{35}$ des déterminations en double. Il résulte de ce tableau que le facteur $\sqrt{\mu}$, calculé d'après la formule de Zunker ainsi que d'après celle de Kozeny a une valeur suffisamment constante pour les fractions séparées, excepté pour la fraction 16-43 μ de la première série de fractions à cause de l'air qui n'a pu en être complètement expulsé (voir ma publication indiquée plus haut). Aussi ai-je, dans la suite, négligé les résultats obtenus à l'aide de cette fraction. On constate également, en considérant ces résultats, que les

TABLEAU I.

PREMIÈRE SÉRIE DE FRACTIONS.

FRACTION ou MÉLANGE.	Calcul de la constante d'après l'équation simplifiée de *Kozeny*. $K_{m,24}$ heures $= \frac{864\,\mu}{\eta}\cdot\frac{p_o^3}{(1-p)^2}\cdot\frac{1}{U_{cm}^2}$.					Calcul de la constante d'après l'équation de *Zunker*. $K_{m,24}$ heures $= \frac{864\,\mu}{\eta}\cdot\frac{p_o^2}{(1-p)^2}\cdot\frac{1}{U_{cm}^2}$.				
	K moyen à 10^5 et P = 35 p. 100 en M. 24 heures.	$\frac{U_{cm}}{\sqrt{\mu}}$	$\sqrt{\mu}$	ÉCART de $\sqrt{\mu}$ en p. 100 de la moyenne $\sqrt{\mu}$	U_{cm} CALCULÉ.	K moyen à 10^5 et P = 35 p. 100 en M. 24 heures.	$\frac{U_{cm}}{\sqrt{\mu}}$	$\sqrt{\mu}$	ÉCART de $\sqrt{\mu}$ en p. 100 de la moyenne $\sqrt{\mu}$	U_{cm} CALCULÉ.
16-43.....	0.135	223.0	1.780	–	397.0	0.165	341.0	1.164	4.4	397.0
43-74.....	0.82	90.5	1.983	1.1	179.5	1.00	138.5	1.296	6.5	179.5
74-104....	1.85	60.2	1.816	7.4	114.5	2.13	94.9	1.207	0.8	114.5
104-147....	4.47	38.8	2.095	6.8	81.28	4.82	63.08	1.289	5.9	81.28
147-208....	8.64	27.9	2.060	5.0	57.48	9.07	45.99	1.250	2.7	57.48
208-295....	15.89	20.6	1.970	0.5	40.58	16.49	34.11	1.190	2.2	40.58
295-417....	27.14	15.7	1.825	6.9	28.65	27.92	26.21	1.093	10.2	28.65
16-74.....	0.40	130.2	1.980	1.0	257.8	0.45	206.5	1.248	2.5	257.8
	En moyenne...		1.961	4.1	–	En moyenne...		1.225	4.4	–
	donc μ moyen = 3.846.					donc μ moyen = 1.501.				

Pour la fraction 16-74 μ on a remplacé U_{cm} calculé par U_{cm} des fractions.

SECONDE SÉRIE DE FRACTIONS.

FRACTION ou MÉLANGE.	K moyen (Kozeny)	$\frac{U_{cm}}{\sqrt{\mu}}$	$\sqrt{\mu}$	ÉCART	U_{cm} CALCULÉ.	K moyen (Zunker)	$\frac{U_{cm}}{\sqrt{\mu}}$	$\sqrt{\mu}$	ÉCART	U_{cm} CALCULÉ.
16-43.....	0.16	204.8	1.938	2.4	397.0	0.20	309.7	1.282	4.0	397.0
43-74.....	0.75	94.6	1.897	0.3	179.5	1.13	130.3	1.377	11.8	179.5
74-104....	2.24	61.4	1.862	1.6	114.5	2.57	86.4	1.325	7.5	114.5
104-147....	3.30	45.1	1.802	4.7	81.28	3.81	71.0	1.145	5.1	81.28
147-208....	6.71	31.6	1.819	3.9	57.58	7.46	50.7	1.134	7.9	57.48
208-295....	14.52	21.5	1.887	0.3	40.58	15.56	35.1	1.156	6.2	40.58
295-417....	28.51	15.4	1.860	1.7	28.65	29.33	25.6	1.119	9.2	28.65
16-43 + 43-74..... (2:1)	0.265	159.1	2.041	7.8	324.8	0.31	248.7	1.306	6.0	324.8
16-43 + 43-74..... (1:2)	0.39	131.2	1.920	1.5	252.0	0.465	203.1	1.241	0.7	252.0
	En moyenne...		1.892	2.7	–	En moyenne...		1.232	6.5	–
	donc μ moyen = 3.580.					donc μ moyen = 1.518.				

NOTE. — On a toujours remplacé p_o par p. Le facteur moyen μ d'après Kozeny

$$\text{est } \frac{3.846 + 3.580}{2} = 3.713$$

$$\text{et d'après Zunker } \frac{1.501 + 1.518}{2} = 1.510.$$

Dans la première série nous avons admis pour la fraction 16-74 μ que U_{cm} calculé = U_{cm} des fractions.

facteurs μ des deux formules sont à peu près les mêmes pour les deux séries. Il en résulte que la structure moyenne des granules des sols sableux aux Pays-Bas est évidemment constante. Nous pouvons conclure, du fait que le facteur μ ne change pas, que les deux formules sont approximativement exactes. Cependant, puisque l'écart moyen du facteur μ est, dans les deux séries, sensiblement inférieur par rapport à la formule de Kozeny, cette formule est, en moyenne, plus exacte pour les sols sableux des Pays-Bas. Aussi l'ai-je utilisée de préférence.

L'écart le plus élevé du facteur $\sqrt{\mu}$ de la formule de Kozeny est ici de 7,5 p. 100, ce qui, pour le facteur μ, revient à 15 p. 100. Cela veut dire que pour des calculs postérieurs du coefficient K à l'aide de cette formule, qui doit revêtir la forme suivante (pour les sols sableux $p_0 = p$) :

(14) $$K_{m\,s\,k} = \frac{3208.-}{n} \cdot \frac{p^3}{(1-p)^2} \cdot \frac{1}{U_m^2}.$$

peuvent se présenter des écarts jusqu'à 15 p. 100. Pourtant l'erreur pourra être plus grande encore, parce que, bien que la structure moyenne des granules reste la même, celle des granules de chacun des sols sableux peut en différer plus ou moins. Comme nous le verrons plus loin, les écarts les plus grands n'ont pas dépassé 50 p. 100, pour les sols contenant une quantité négligeable d'argile, d'humus et de CO^3Ca, auxquels on peut exclusivement appliquer ce calcul.

2. *Ascension capillaire maximum.*

Dans ce cas nous avons également effectué les déterminations sur deux séries de fractions, ces déterminations pour chacune des fractions étant faites en double. Pour la première série nous avons utilisé les deux méthodes et, pour la seconde, la première méthode seulement. C'est que les résultats fournis par la première série de fractions nous ont montré que les écarts des valeurs de H_{35}, d'après les déterminations des valeurs moyennes de H_{35}, ne sont pas considérables pour l'une ou l'autre des deux méthodes; mais que la seconde donnait toujours des valeurs trop élevées. La même chose s'est également et presque toujours produite pour les échantillons analysés. Il faut l'expliquer par le fait que la détermination, d'après la seconde méthode, nous conduit à des valeurs trop élevées. Comme nous avons constaté que les valeurs obtenues à l'aide de la méthode des colonnes de terre (voir § 4 ci-dessous) s'accordent mieux avec les valeurs trouvées d'après la première méthode qu'avec celles fournies par la seconde, nous ne parlerons, dans la suite, que des résultats obtenus au moyen de cette première méthode. Du fait que nous n'avons enregistré pour les deux séries de fractions que de faibles écarts dans les résultats des

déterminations en double, il résulte qu'on peut obtenir des valeurs reproductibles en suivant cette méthode. Ces écarts sont, à leur tour, le total des erreurs provenant des structures différentes des cavités (erreur qui ne peut être corrigée, en principe) et des erreurs ordinaires (qui, en principe, peuvent être corrigées). Ici, comme pour les déterminations de la perméabilité, on ne peut pas constater l'influence du volume des espaces lacunaires d'après l'importance de ces écarts, puisque, pour les déterminations en double, les volumes des espaces lacunaires diffèrent trop peu l'un de l'autre, ce qui s'est présenté également pour les analyses des échantillons. Ici encore, ces différences sont assez grandes, lorsqu'on compare entre elles toutes les fractions d'une série. En remplaçant de nouveau la surface spécifique par la valeur trouvée pour la surface spécifique d'après la formule 1, on peut calculer le facteur *a*. Celui-ci dépendra également un peu du genre de tamis employé. Les résultats de ces expériences figurent dans le tableau II, ayant comme base les valeurs moyennes

TABLEAU II.

ASCENSION CAPILLAIRE MAXIMUM.

FRACTION ou MÉLANGE.	PREMIÈRE SÉRIE DE FRACTIONS.				SECONDE SÉRIE DE FRACTIONS.			
	U_{cal} calculé	H_{max} P = 35 p. 100	*a*	ÉCART de *a* par rapport à *a* moyen en p. 100	U_{cal} calculé	H_{max} P = 35 p. 100	*a*	ÉCART de *a* par rapport à *a* moyen en p. 100
16—43 μ.	397.0	359	0.487	2.0	397.0	315	0.427	8.4
43—74 μ.	179.5	164	0.492	1.2	179.5	157	0.471	1.1
74—104 μ.	114.5	112	0.527	5.8	114.5	95	0.447	4.1
104—147 μ.	81.28	81	0.537	7.8	81.28	80	0.530	13.7
147—208 μ.	57.48	57	0.534	7.2	57.48	55	0.515	10.5
208—295 μ.	40.58	39	0.518	4.0	40.58	38	0.504	8.2
295—417 μ.	28.65	27	0.508	2.0	28.65	25	0.470	0.1
417—589 μ.	20.28	19	0.505	1.4	—	—	—	—
16—43 + 43—74 (1 : 3).	233.9	200	0.460	7.6	—		—	—
16—43 + 43—74 (1 : 1).	288.3	242	0.452	9.2	—		—	—
16—43 + 43—74 (3 : 1).	342.6	293	0.461	7.4			—	—
16—43 + 43—74 (1 : 2).		—	—		252.0	190	0.406	12.9
16—43 + 43—74 (2 : 1).	—		—	—	324.8	257	0.426	8.6
	En moyenne à 18° C.		0.498	5.1	En moyenne à 18° C.		0.466	7.6

En moyenne a : $\frac{0.498 + 0.466}{2}$ = 0.482 à 18.0° C.

de H_{35} des déterminations en double. Il résulte de ce tableau que le facteur *a* reste à peu près le même pour chacune des fractions, d'où il s'ensuit à son tour, que cette formule exprime de façon satisfaisante l'influence du volume des espaces lacunaires et de la surface spécifique. Le facteur *a* est également à peu près le même pour les deux séries, d'où il résulte — exactement comme pour les résultats des déterminations de la perméabilité sous le même rapport — que la structure moyenne des granules des sols sableux des Pays-Bas est partout la même, bien que, cela va sans dire, pour chacun des sols particuliers des écarts plus grands puissent se présenter. Aussi si l'on calcule l'ascension capillaire maximum d'après la formule, qui est donc (pour les sols sableux : $p_0 = p$) :

$$H = 0{,}482 \frac{1-p}{p_0} \cdot U_{cm}. \qquad (15)$$

des écarts pourront se présenter qui seront un peu plus grands que l'écart maximum trouvé pour les fractions (13,7 p. 100). Comme on le verra plus loin, nous n'avons pas enregistré, pour les sols contenant une quantité négligeable d'argile, d'humus et de chaux, d'écarts dépassant 25 p. 100 environ, si, du moins, on attribue au facteur *a* une autre valeur que celle qu'il a dans la formule citée ci-dessus. Le fait qu'il faut attribuer une valeur plus petite au facteur *a* dès qu'il s'agit d'échantillons, tient toujours — nous le verrons plus loin — à la présence, dans les échantillons de terre, d'un peu d'humus qui fait diminuer la tension superficielle de l'eau et par conséquent le facteur *a*.

3. *Quantité d'eau retenue et constante* μ *de Porchet; le poids spécifique dépend de la surface spécifique.*

Ces déterminations ont été effectuées, elles aussi, sur deux séries de fractions indépendantes. Nous avons constaté que l'écart de la valeur moyenne de W_{ha} pour les déterminations en double était très faible (6,6 p. 100 au maximum), d'où il résulte qu'on peut obtenir des résultats reproductibles d'après la méthode utilisée, ce qui a été également le cas pour les échantillons. Cela est d'une grande importance en ce qui concerne l'application de la méthode aux sols dans leur état naturel, puisqu'il ressort des expériences faites sur les fractions aussi bien que sur les échantillons contenant une quantité négligeable d'argile, d'humus et de CO^3Ca, qu'il n'existe pas de rapport marqué entre W_{ha} et U^{cm}, bien que W_{ha} augmente sensiblement à mesure que U^{cm} augmente. Il est très curieux de noter que ce rapport existe dans une mesure très nette pour la première série de fractions où nous constatons que W_{ha} est proportionnel à $\sqrt{U_{cm}}$, tandis qu'un rapport entre W_{ha} et *p* ne s'est pas manifesté du tout ou seulement de façon peu sensible. Il faut chercher l'explication de ce phénomène dans le fait que la structure des granules exerce une grande influence sur W_{ha}; celle-ci peut quelquefois

dépasser en importance celle exercée par U^{cm} (W_{ha} est tout au plus proportionnel à $\sqrt{U_{cm}}$). Cela se présente moins facilement pour la perméabilité (en proportion avec U^2_{cm}) et pour l'ascension capillaire maximum (proportionnelle à U_{cm}). Enfin comme le volume des espaces lacunaires exerce tout au plus une influence infime sur W_{ha} (voir § 4 ci-dessous) et que nous avons toujours obtenu des valeurs reproductibles pour W_{ha} des déterminations en double, il en résulte qu'il ne faut pas s'attendre à de grandes erreurs en appliquant cette méthode aux sols considérés dans leur état naturel. Comme il n'existe pas de rapport fixé par une formule, on ne peut pas ramener ces valeurs aux conditions naturelles.

Nous constatons que la grandeur μ de Porchet est à peu près la même pour toutes les fractions, c'est-à-dire de 30 p. 100. Cela s'explique par ce fait que le volume des espaces lacunaires ainsi que W_{ha} sont plus grands pour les fractions fines que pour les fractions grossières, raison pour laquelle la différence ($= \mu$) reste à peu près la même. Le même phénomène se manifeste, bien que de façon moins évidente, pour les échantillons ordinaires. Par rapport à ce que je viens de faire remarquer sur l'application de W_{ha} à ces sols dans leur état naturel, il faut ajouter que l'application des valeurs de μ sur ces sols en place ne donnera pas de grandes erreurs, pourvu que la surface phréatique soit à une profondeur de H centimètres, au moins, au-dessous de la surface. Je n'y insiste pas ici en renvoyant mes lecteurs de nouveau à ma publication citée déjà à plusieurs reprises. Bien que ceci ne se rapporte pas directement à ce qui précède, je peux ajouter que le poids spécifique réel des fractions augmente à mesure que la valeur de U^{cm} augmente. *Il ne faut pas* expliquer ce fait par la différence de composition minéralogique, puisque chacune des fractions n'est qu'une collection de fractions du même diamètre, obtenues par l'analyse de quelques centaines d'échantillons différents. L'explication donnée par Zunker (13) me paraît exacte. Il suppose qu'à la surface des particules l'eau se contracte, de sorte que l'on enregistre un volume des particules trop faible et, par conséquent, un poids spécifique trop élevé. Il est évident que, pour les fractions les plus grossières, la contraction de l'eau exerce une influence négligeable sur le poids spécifique des particules. Aussi est-ce ce que Zunker appelle le poids spécifique réel, qui est, dans notre cas, de 2,64 à 2,65, ce qui concorde avec la valeur obtenue par Zunker (2,65).

4. Résultats de la détermination de l'ascension capillaire et de la grandeur W_{ha} à l'aide de la méthode à colonne de terre.

La méthode indiquée par Porchet (14) pour la détermination de μ est une méthode à colonne de terre. Son inconvénient est qu'elle n'est applicable qu'à des sols ayant une faible ascension capillaire, parce que la hauteur de

la colonne de terre doit être supérieure à H. On peut déterminer à l'aide de la méthode à colonne de terre W_{ha} ainsi que μ et l'ascension capillaire en faisant écouler l'eau de colonnes de terre suffisamment longues et originairement entièrement saturées d'eau. La critique formulée par Zunker contre la méthode à colonne de terre (15) n'est pas fondée comme l'ont démontré clairement différentes expériences nouvelles (voir ma publication citée à la page 1). Cette méthode, elle aussi, présente le même inconvénient que celle proposée par Porchet. Aussi ne l'ai-je utilisée que pour contrôler, dans certains cas, les valeurs obtenues à l'aide d'autres méthodes, puisqu'on peut attacher une grande valeur aux résultats de la méthode à colonne de terre parce que ses conditions se rapprochent de très près de celles de l'état naturel.

Il résulte des déterminations effectuées sur cinq échantillons que la teneur en liquide dans la couche de terre à partir de la surface de l'eau autour des colonnes de terre jusqu'à une hauteur déterminée (la surface capillaire) reste à peu près la même ; qu'elle diminue ensuite d'un bond assez grand ; qu'elle diminue encore un peu plus dans les couches plus élevées pour aboutir enfin à une valeur constante. *Ces chiffres constants indiquant la teneur en liquide (chiffres de W_{ha}) dans les couches se trouvant à une hauteur suffisante au-dessus de la surface capillaire, s'accordent extrêmement bien avec les chiffres de W_{ha} déterminés d'après la méthode de décantation, malgré une grande différence entre les volumes des espaces lacunaires, différence qui ne peut donc exercer qu'une influence infime* (voir le tableau III). La diminution de la teneur en liquide dans la couche au-dessus

TABLEAU III.

ÉCHANTILLON N°.	ASCENSION CAPILLAIRE MAXIMUM en centimètres $p = 35$ vol. p. 100.			MÉTHODE DE DÉCANTATION.		MÉTHODE DES COLONNES DE TERRE.	
	Méthode à sous-pression.	Méthode sans sous-pression.	Méthode des colonnes de terre.	p en vol. p. 100.	W_{ha} en grammes par 100 grammes de matière sèche.	p en vol. p. 100.	W_{ha} en grammes par 100 grammes de matière sèche.
B. 5173	53	49	48	34.4	4.4	40.8	4.5
B. 5337	77	61	57-66	40.3	7.7	44.3	7.7
B. 5427	36	31	29	35.0	4.7	38.2	5.0
B. 5168	27	23	26	33.1	3.1	34.5	3.5
W. M. 1475	25	24	28	37.2	3.8	36.8	3.7

de la surface capillaire jusqu'à ce qu'elle ait atteint, à une hauteur suffisante au-dessus de cette surface, une valeur constante, doit être expliquée par le fait qu'il y a un peu d'eau funiculaire et peut-être aussi d'eau capillaire dans quelques capillaires très minces (voir ma publication mentionnée à la page 1).

Si l'on ramène les ascensions capillaires maxima obtenues (c'est la hauteur de la couche dans laquelle la teneur en liquide au-dessus de la surface phréatique reste la même, ce qui, d'ailleurs, était bien visible par la couleur de la terre) à un volume des espaces lacunaires de 35 vol. p. 100, *on obtient des ascensions capillaires qui s'accordent extrêmement bien avec les valeurs déterminées d'après la première méthode, tandis que, pour la seconde méthode, ce cas ne se présente que dans les sols dont l'ascension capillaire est faible. Il en résulte que la méthode pour la détermination de* W_{ba} *et la première méthode pour la détermination de l'ascension capillaire maximum donnent pour ces grandeurs des valeurs de* H *indépendantes de la méthode suivie.*

CHAPITRE IV.

RÉSULTATS OBTENUS PAR L'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS.

Perméabilité.

1. *Observations générales.*

Les écarts que présentent les déterminations en double (ramenés à l'aide des formules de Kozeny et de Zunker) du coefficient moyen $K_{10}/_{35}$ sont généralement inférieurs à 10 p. 100, excepté pour quelques échantillons ayant une teneur en argile plus élevée. Parmi tous les échantillons analysés, il n'y en avait que deux pour lesquels l'erreur dépassait 15 p. 100, tout en restant inférieure à 20 p. 100. *Il en résulte donc que la limite maximum des erreurs pour la détermination d'après la méthode décrite varie de 15 à 20 p. 100.*

A la seconde détermination nous avons obtenu, pour treize des échantillons analysés ayant tous une teneur en argile dépassant 4 p. 100, des valeurs de plus en plus faibles (quelquefois de cent fois et plus encore). Nous n'avions pas une assez grande quantité de ces sols, comme de beaucoup d'autres, pour pouvoir effectuer les deux déterminations sur les mêmes échantillons. Aussi, en tenant compte de ce que ces sols ont tous une teneur en argile assez élevée, faut-il chercher l'explication dans le fait qu'ils possèdent déjà une structure spéciale (granules secondaires). Par suite de la soustraction de sels par l'eau distillée passant par la terre, celle-ci est peptisée, de sorte qu'à la seconde détermination sa structure s'est plus rapprochée de la structure granuleuse. *Il en résulte donc qu'à une teneur de 4 p. 100 en argile (0-16 μ) la limite peut être atteinte là où, par suite de la présence d'une structure, les déterminations de laboratoire n'ont plus de sens, mais qu'il faut les effectuer sur les sols en place et dans les conditions naturelles.* Il faut remarquer aussi que cette limite ne se trouve pas pour tous les sols à 4 p. 100 de la fraction 0-16 μ. Nous avons aussi analysé des sols ayant une teneur beaucoup plus élevée de cette fraction (jusqu'à 12 p. 100) et où il n'y avait pourtant pas de structure. C'est que la présence

d'une structure est beaucoup influencée par la composition de cette fraction. Lorsqu'elle se compose pour la plus grande partie d'argile au sens chimique du terme, la limite se trouve à 4 p. 100, tandis que, quand elle se compose surtout d'éléments minéraux non délabrés, cette limite varie entre 10 et 15 p. 100. Il en résulte qu'il faut commencer par examiner si les sols contenant plus de 4 p. 100 de la fraction 0-16 μ possèdent ou non une structure. Il faut encore ajouter que les écarts pour les déterminations en double sont le total des écarts causés par les erreurs ordinaires (qui peuvent être corrigées, en principe) et par les structures différentes des cavités (erreurs non corrigibles, en principe). De ces erreurs les dernières sont probablement les plus importantes.

2. *Résultats obtenus par l'analyse des échantillons ayant une faible teneur en argile, en humus et en CO^3Ca.*

Pour les échantillons ayant une faible teneur en argile, en humus et en CO^3Ca, nous avons examiné si le coefficient de perméabilité peut être calculé avec une précision suffisante, d'après la surface spécifique et à l'aide de la formule de Kozeny (il n'est plus question ici de la formule de Zunker, moins exacte que l'autre). Comme surface spécifique du sol considéré nous avons pris celle de la fraction sableuse (sans la ramener à 100 p. 100), de sorte que l'influence des faibles teneurs en argile, en humus et en CO^3Ca était négligée. *Nous avons ainsi constaté qu'il y avait une concordance assez satisfaisante entre les coefficients K calculés et ceux déterminés de façon expérimentale, lorsque la teneur totale en argile + humus + CO^3Ca ne dépassait pas 3,5 p. 100, dont la teneur en argile + humus ensemble ne devait pas dépasser 2,5 p. 100 et dont la teneur en CO^3Ca ne devait pas non plus dépasser 2,5 p. 100.* Des quarante-cinq échantillons répondant à ces conditions, cinq présentaient des écarts de 40 à 46 p. 100 (écart le plus élevé) et sept des écarts de 30 à 40 p. 100. Dans un des échantillons, composé de sable grossier ayant une teneur en argile relativement élevée (2 p. 100 d'argile et 0,5 p. 100 d'humus; donc représentant un cas limité), nous avons enregistré un écart plus important. Dans de pareils cas la teneur en argile n'est pas à négliger et il faut être prudent en calculant le coefficient K. Enfin il faut noter qu'il nous a paru impossible d'ajouter à la formule une correction pour des sols ayant une teneur plus élevée en argile, en humus et en CO^3Ca.

3. *Influence d'une teneur en argile croissante sur la perméabilité.*

En ce qui concerne cette influence, il suffit de noter, comme l'on pouvait s'attendre, que la perméabilité diminue avec une teneur progressive de la fraction de 0-16 μ. Cette diminution est plus grande, lorsque cette fraction

se compose d'argile véritable, que quand elle consiste en éléments minéraux fins et non altérés.

4. *Influence d'une teneur en CO^3Ca croissante sur la perméabilité.*

Nous l'avons étudiée sur des échantillons ayant une teneur croissante en CO^3Ca et négligeable en argile et en humus. A cet effet, nous avons ramené la surface spécifique à 100 p. 100 de la fraction sable et nous avons calculé le coefficient $K_{10}/_{35}$ à l'aide de la formule 13. En comparant ces coefficients aux coefficients $K_{10}/_{35}$ déterminés directement, nous avons pu voir si l'augmentation de U^{cm} de la fraction sableuse par 1 p. 100 de CO^3Ca est supérieure, inférieure ou égale à l'augmentation moyenne de 1 p. 100 de la fraction sable. Ainsi nous avons constaté que pour les sols contenant plus de 2,5 p. 100 de CO^3Ca (voir aussi § 2) le coefficient calculé était toujours plus élevé et, quelquefois même, beaucoup plus élevé que le coefficient déterminé par voie expérimentale. *Il en résulte que les particules de CO^3Ca sont en moyenne plus petites que les particules des sols sableux analysés, puisque ces sols se sont trouvés dans une structure granuleuse.*

5. *Influence d'une teneur en humus croissante sur la perméabilité.*

Malheureusement nous n'avions pas à notre disposition d'échantillons ayant une teneur en humus croissante et une teneur négligeable en argile et en CO^3Ca. Tant que nous avons analysé des sols ayant une teneur en humus plus élevée, *nous avons constaté qu'une teneur plus élevée en argile - humus fait diminuer sensiblement la perméabilité.* J'ai eu l'impression qu'avec une teneur en argile constante, une teneur croissante en humus fait augmenter la perméabilité. Cela n'est cependant pas prouvé.

Ascension capillaire maximum.

1. *Observations générales.*

Nous avons conclu des déterminations effectuées sur les échantillons que les écarts pour les déterminations en double des valeurs moyennes de H_{35} déterminés d'après les deux méthodes, ne sont pas grands. Comme je l'ai dit au chapitre précédent, la seconde méthode donne des valeurs trop élevées; c'est pourquoi je ne parlerai plus, dans la suite, des résultats qu'elle donne. En général, les écarts trouvés à l'aide de la première méthode ont été inférieurs à 10 p. 100, tandis que pour trois échantillons seulement nous en avons enregistré de 10 à 20 p. 100. *Aussi l'on peut considérer un écart de 15 à 20 p. 100 comme l'erreur maximum de la méthode proposée ci-dessus.* J'insiste

pourtant sur le fait que, pour des sols possédant déjà une certaine structure, des écarts plus grands peuvent se présenter. Les teneurs maxima de la fraction 0-16 μ capables de favoriser déjà une structure dans les sols et pour lesquelles les déterminations du laboratoire perdent donc leur valeur, sont les mêmes, cela va sans dire, que celles citées déjà par rapport à la perméabilité (§ 1). Je peux ajouter à cette occasion qu'ici également les écarts des déterminations en double sont le total des erreurs ordinaires (qui peuvent être corrigées, en principe) et des erreurs provenant des structures différentes des cavités (qui ne peuvent être corrigées en principe). Probablement les derniers écarts sont les plus importants.

Ensuite, il faut signaler encore qu'on ne peut pratiquement pas déterminer au moyen de la première méthode des ascensions capillaires supérieures à 300 centimètres. En pratique cela suffit amplement. Si l'on a à déterminer les ascensions capillaires maxima dans des sols plus fins (structure granuleuse) il faut préférer une *méthode à surcroît de pression*. Je veux terminer en recommandant à mes lecteurs de ne pas confondre *l'ascension capillaire* avec la *vitesse de percolation*. Notre connaissance de la vitesse de percolation n'est que très limitée. En général on se base sur des expériences antérieures consistant à faire monter de l'eau dans des colonnes de terre sèche ou contenant déjà un peu d'eau et à déterminer la vitesse. Cependant, pour ces expériences de laboratoire, les conditions sont complètement différentes de celles de la terre dans son état naturel, où, au début de périodes sèches en raison d'une évaporation plus active, les capillaires sont remplis d'eau jusqu'à la surface. Il me paraît même probable que la vitesse de percolation, dans de telles conditions, est beaucoup plus grande. Nous entreprendrons des expériences sur ce phénomène à notre Institut, en temps opportun.

2. *Résultats obtenus pour les sols contenant peu d'argile, d'humus et de CO^3Ca.*

Comme pour la perméabilité nous avons examiné de la même façon si, pour les échantillons à faible teneur en argile, en humus et en CO^3Ca, on peut calculer les valeurs de H_{35} avec une précision suffisante à l'aide de la surface spécifique et de la formule 15. Nous avons ainsi constaté que presque toujours (deux exceptions seulement sur 53 échantillons) les valeurs de H_{35} calculées étaient plus élevées que celles déterminées par voie expérimentale. Il faut chercher l'explication de cette constatation dans le fait que des traces d'humus existant toujours dans les échantillons de sols dans leur état naturel, mais non dans les fractions, ont diminué la tension superficielle de l'eau (α) de sorte que des quantités plus grandes d'humus, jusqu'à 1,6 p. 100 au moins, ne produisent plus d'abaissement sensible. Si l'on calcule, d'après les résultats obtenus sur les cinquante-trois échantillons déjà mentionnés, la

valeur à attribuer au facteur *a* dans la formule, on constate qu'il est égal à 0,401 et la formule (pour les échantillons eux-mêmes) est donc :

$$H = 0{,}401 \frac{1-p}{p} \cdot U_{cm} \qquad (16)$$

Si nous calculons ensuite les valeurs de H_{35} d'après cette formule, nous trouvons une concordance satisfaisante entre les chiffres de H_{35} calculés et ceux déterminés de façon expérimentale (l'erreur maximum est de 27 p. 100), *lorsque dans les échantillons la teneur totale en argile, en humus et en CO^3Ca ne dépasse pas 4 p. 100 et dont la teneur en argile ne doit pas dépasser 3,4 p. 100, la teneur en humus ne doit pas être supérieure à 1,6 p. 100 et la teneur maximum en CO^3Ca est de 2,4 p. 100.* Nous avons démontré que l'humus est en effet la cause de la diminution de la tension superficielle de l'eau (puisque $\alpha = \frac{6\,\alpha\,\beta}{\rho g}$ il en résulte que α est devenu $\frac{0{,}401}{0{,}482} = 0{,}83$ fois plus petit) en traitant quelques échantillons avec H^2O^2 qui en expulse l'humus. Nous avons constaté que, dans les sols ainsi traités, les valeurs de H_{35} avaient augmenté et étaient alors d'accord avec les chiffres de H_{35} calculés d'après la formule 15 ($a = 0{,}482$). Dans quelques sols à teneurs en humus plus élevées (plus de 1,6 p. 100) et à teneurs en argile supérieures, les valeurs de H_{35} diminuaient. Il faut chercher très probablement l'explication de ce phénomène — malgré la teneur en argile plus élevée — dans le fait que l'accroissement des teneurs en humus (*par suite de l'augmentation de* U^{cm}) fait augmenter l'ascension capillaire maximum. Il est curieux de constater que, pour des teneurs en humus moindres, les ascensions capillaires diminuent (*par suite d'une diminution de* α), tandis que pour des teneurs en humus plus élevées les ascensions capillaires augmentent (*par suite de l'augmentation de* U^{cm}), de sorte que pour une teneur déterminée en humus ces deux influences s'annulent.

3. *Influence d'une teneur en argile progressive sur l'ascension capillaire maximum.*

A ce propos il suffit de noter que *l'ascension capillaire maximum augmente avec une teneur progressive en argile* (fraction 0-16 μ), comme on pouvait s'y attendre. C'est que la surface spécifique augmente exactement comme dans le cas de la perméabilité.

4. *Influence d'une teneur progressive en CO^3Ca sur l'ascension capillaire maximum.*

Nous avons examiné, à l'aide d'une méthode analogue à celle utilisée pour les déterminations de la perméabilité, l'influence de CO^3Ca sur l'ascension

capillaire dans les échantillons ayant une teneur progressive en CO^3Ca et négligeable en argile et en humus. Nous avons constaté que, pour une teneur supérieure à 2,4 p. 100 (voir § 2) la valeur calculée de H_{35} était toujours inférieure à la valeur déterminée par voie expérimentale. *Il en résulte, ainsi que des déterminations de la perméabilité, que les particules de CO^3Ca sont en moyenne plus fines que les particules moyennes de la fraction sableuse.*

5. *Influence d'une teneur progressive en humus sur l'ascension capillaire maximum.*

Comme je l'ai déjà remarqué, en parlant de la perméabilité, il n'y avait pas d'échantillons à teneur progressive en humus et négligeable en argile et en CO^3Ca. *Comme pour la perméabilité, nous constatons que l'influence d'une teneur plus élevée à la fois en argile et en humus se manifeste par une augmentation (quelque fois très considérable) de la surface spécifique.* Des résultats des déterminations traitées au paragraphe 2, nous concluons qu'une teneur en humu plus élevée fait augmenter la surface spécifique par rapport à l'ascension capillaire maximum, tandis qu'il résulte d'autres expériences que par rapport à la perméabilité, une teneur en humus plus élevée paraît exercer une influence inverse.

Valeur μ de Porchet et quantité d'eau retenue.

1. *Quelques observations générales.*

Nous avons constaté que les écarts des déterminations en double des chiffres moyens de $W_{t.a}$ sont généralement inférieurs à 5 p. 100, tandis que l'écart le plus considérable, obtenu dans l'analyse de tous les échantillons, n'a été seulement que de 7,1 p. 100. Il s'ensuit que cette méthode donne des chiffres reproductibles pour la grandeur $W_{t.a}$ et, par conséquent, pour la grandeur μ. Cela est d'une importance capitale en ce qui concerne l'application de ces grandeurs aux sols en place, fait sur lequel j'ai insisté déjà plus haut (chap. III, 3 et 4). Il faut ajouter également que les sols doivent posséder la structure granuleuse. Une petite quantité d'agrégats à microstructure n'exerceront d'ailleurs qu'une influence minime et le plus souvent négligeable.

2. *Sols à teneur minime en argile, en humus et en CO^3Ca; influence d'une teneur progressive en argile, en humus ou en CO^3Ca.*

a. La valeur $W_{t.a}$.

Il résulte des résultats obtenus dans des sols à faible teneur en argile, en humus et en CO^3Ca qu'il n'existe pas de rapport bien marqué entre les valeurs

W_{ha} et U^{cm}. Cependant on peut affirmer qu'en général W_{ha} augmente avec une surface spécifique progressive (à peu près proportionnel à $\sqrt{U_{cm}}$). Il est donc impossible de calculer W_{ha} d'après U^{cm}. Une teneur progressive en argile fait augmenter W_{ha}, phénomène auquel on s'attendait d'ailleurs. L'influence d'une teneur progressive en CO^3Ca ne peut être examinée à défaut d'un rapport formulaire et par l'influence minime de CO^3Ca. Il en est de même en ce qui concerne la teneur en humus. Pour autant qu'il est possible de conclure des résultats obtenus, il semble qu'une teneur en humus progressive fasse augmenter W_{ha}.

b. Valeur μ de Porchet.

L'influence exercée par U^{cm} et par une teneur progressive en argile, en humus et en CO^3Ca est extrêmement faible, ce qui, je l'ai signalé plus haut, tient au fait que W_{ha} augmente en même temps que p.

Bien que W_{ha} varie dans les limites de 5 à 20 p. 100, les limites extrêmes (très rares) sont de 13 à 32,6 p. 100. Généralement la valeur μ oscille entre 20 et 30 p. 100, tandis que la moyenne de tous les chiffres est de 24,4 p. 100. Aussi, si nous admettons pour ce chiffre une valeur moyenne de 25 vol. p. 100, l'erreur maximum, pour plus d'une centaine d'échantillons analysés, est de 48 p. 100, tandis, qu'en général, elle n'atteindra pas 20 p. 100. Aussi pour beaucoup d'usages une valeur de 25 vol. p. 100 pour μ pourra-t-elle être admise sans inconvénient, bien que pour des calculs précis il soit préférable de déterminer cette grandeur.

NOTES.

1. Zunker, F. : Zeitschrift für Pflanzenernährung, *A, 25*, pp. 2 et 3, *1932*. Voir également le chapitre du même auteur dans «Handbuch der Bodenlehre»; herausgegeben von Dr. E. Blank, tome VI.

2. Pour la littérature comparez la note (1) à la p. 19.

3. Kozeny, J. : Der Kulturtechniker, *35*, 478, *1932;* Zeitschrift für Pflanzenernährung, *A, 28*, 54, *1933;* Der Kulturtechniker, *36*, 301, *1933*.

4. Zunker, F. : Der Kulturtechniker *35*, 335, *1932;* Zeitschrift für Pflanzenernährung, *A, 25*, 1, *1932;* Der Kulturtechniker, *35*, 64, *1933* et *36*, 307, *1933*.

5. Pour éviter les malentendus j'ajoute que je suppose que dans p_0 l'on a introduit la teneur en air. D'après la définition de Zunker p_0 n'est en effet que le volume des espaces lacunaires diminué de la teneur en air.

6. Zunker, F. : Handbuch der Bodenlehre, Tome VI, pp. 98-99.

7. Porchet, M. : Analyse hydrodynamique des terres, etc.; Extraits des *Annales de la Direction générale des Eaux et Forêts, fascicule n° 58*, Paris, 1930.

8. Pour la littérature comparez la note (6), p. 137.

9. Zunker, F. : Voir la note (6), p. 154. Schönwälder, B. : Die Rieselfeldanlage in ihrer Abhängigkeit von der Wasserdurchlässigkeit des Bodens; Inaugural Dissertation, *Breslau*, p. 15, *1928*.

10. Engelhardt, J. H. : Bijdrage tot de kennis van de capillaire verschijnselen in verband met de heterogeniteit van den grond; thèse de *Wageningen*, p. 4, *1928*.

11. Transactions of the Sixth Commission of the International Society of Soil Science *Groningen*, *Volume B*, p. 90-91.

12. Pour la littérature voir la note (10), p. 23-35.

13. Pour la littérature voir la note (6), p. 71-78.

14. Pour la littérature voir la note (7).

15. Pour la littérature voir la note (6), p. 131

ACTION DES ENGRAIS
SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES
DES SOLS DE LIMON,

PAR

H. BURGEVIN,

DIRECTEUR DE LA STATION CENTRALE D'AGRONOMIE ET DE BIOLOGIE DES SOLS.
(VERSAILLES.)

Depuis la fin de l'année 1928, la Station centrale d'Agronomie de Versailles poursuit des expériences sur l'action des engrais sur la constitution du sol. Ces expériences sont effectuées sur des parcelles non cultivées, de 2 m. × 2 m. 50, séparées par des sentiers. Les parcelles sont maintenues sans culture afin de ne pas faire intervenir l'action propre de la plante. Les apports d'engrais sont répétés tous les ans. Des prélèvements périodiques d'échantillons permettent de suivre la marche des modifications. La terre est une terre de limon, à réaction légèrement acide, pH = 6,5 avec 16,0 d'argile et 17,0 de limon. Ces expériences seront poursuivies systématiquement pendant une longue période. Actuellement, elles ne sont encore que dans leur sixième année. Néanmoins, on a déjà pu constater d'une manière non douteuse l'action de certains engrais sur la constitution du sol, en particulier sur certaines propriétés physiques.

Ces constatations se rapportent aux facteurs suivants :

1° *Acidification sous l'action des sels ammoniacaux.* — Les parcelles considérées ont reçu tous les ans une dose de chlorure d'ammonium équivalente à 650 kilogrammes par hectare. Le pH initial (novembre 1928) était 6,50. En novembre 1933, il était tombé à 5,02.

2° *Substitution partielle de Na à Ca dans le complexe absorbant.* — Action du nitrate de soude employé à raison de 1.000 kilogrammes à l'hectare. Teneur initiale en sodium échangeable : 0,04 milliéquivalent pour 100 grammes de terre. Teneur actuelle = 0,63 milliéquiv. Calcium échangeable 14,0 milliéquiv. pH = 6,68.

3° *Action du nitrate de chaux* employé à dose équivalente à celle du nitrate de soude. — pH = 6,86.

4° *Action des matières humiques.* — Les matières humiques ont été apportées sous forme de fumier de ferme à raison de 100 tonnes par hectare et par an. Teneur initiale en matières humiques (par calcination) = 3,5 p. 100. Teneur actuelle 4,5 p. 100 — pH = 6,48.

Action sur la texture du sol. — La teneur en argile et en limon déterminée sur une couche de 20 centimètres d'épaisseur ne montre pas encore, dans ces diverses parcelles, de variations significatives. Dans les parcelles à fumier la teneur en matières humiques s'est élevée, mais malgré l'apport massif et annuel de fumier (100 tonnes à l'hect.) l'accroissement est relativement peu élevé. Dans ces sols (sols faiblement podzoliques et restés sans culture pendant de longues années) la période envisagée est trop courte pour que l'on puisse déceler des variations notables de texture par entraînement des constituants fins.

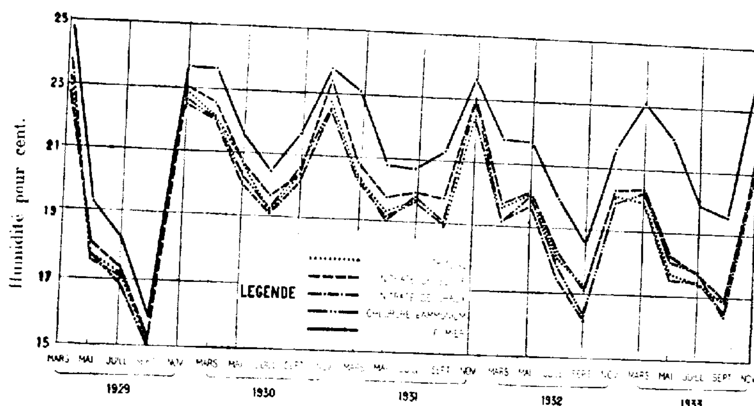
Action sur la structure. — Un examen même superficiel permet de constater, particulièrement à la fin de l'hiver après une période de pluie, des différences très nettes dans l'aspect de la surface. Toutes ces parcelles reçoivent les mêmes façons d'entretien et au même moment. Or, elles présentent superficiellement des apparences très distinctes. Les différences, peu marquées mais visibles dans la couleur, sont plus nettes dans l'état de la surface et frappantes quand on compare une parcelle ayant reçu des sels de sodium (nitrate de soude) à une autre parcelle ayant reçu des sels de calcium (nitrate de chaux). La première est nettement glacée, la seconde conserve une structure grumeleuse. Le phénomène est moins marqué mais s'observe encore dans les parcelles à sylvinite. Il semble qu'il y ait là un phénomène d'ordre dynamique qui rentre dans la catégorie des actions étudiées par D. Vilenski.

L'analyse mécanique des agrégats telle qu'elle a été décrite par Demolon et Henin (*Recherches sur le sol*, V, III (1932), p. 1 à 9) a été effectuée sur les parcelles ayant reçu CaO, NH^4Cl, NO^3Na et du fumier. Les échantillons ont été prélévés entre 8 et 12 centimètres de profondeur et l'analyse a été effectuée immédiatement sur la terre passée au tamis à trous ronds de 2 millimètres de diamètre. Les seules différences significatives ont été constatées pour les parcelles ayant reçu du fumier ou de la chaux, qui exercent l'un et l'autre une action agrégeante. Le rapport :

$$\frac{\textit{Coefficient d'agrégation de la parcelle d'expérience}}{\textit{Coefficient d'agrégation de la parcelle témoin}}$$

coefficients calculés d'après Henin, donne 1,14 pour le fumier et 1,05 pour la chaux.

Action sur l'humidité du sol. — L'humidité du sol a été déterminée tous les deux mois, sauf pour la période d'hiver. Le graphique ci-joint montre la variation d'humidité du sol sous l'influence de divers facteurs.



Ces chiffres montrent : 1° que l'acidification n'a déterminé aucune variation sensible dans l'humidité du sol par rapport au témoin; 2° que le nitrate de soude a déterminé une augmentation légère mais constante dans le taux d'humidité; 3° que le nitrate de chaux a donné une humidité un peu inférieure à celle des parcelles à nitrate de soude; 4° que les matières humiques ont déterminé un accroissement très net de l'humidité du sol. Cet accroissement va en s'accentuant. Il est très marqué dans la période sèche, c'est-à-dire dans celle où il intervient le plus utilement.

Action sur la capacité de rétention pour l'eau. — Il était indiqué de voir si cette variation du taux d'humidité était en relation avec la capacité de rétention pour l'eau. La détermination de cette capacité effectuée sur la terre non séchée d'après la méthode de Bouyoucos a donné les chiffres suivants :

Parcelle témoin		25,3 ± 0,4
—	à chlorure d'ammonium	23,0 ± 0,6
—	à nitrate de sodium	25,4 ± 0,1
—	à nitrate de calcium	22,1 ± 0,2
—	à fumier	28,8 ± 0,5

On voit que le fumier a nettement augmenté la capacité de rétention pour l'eau. Le chlorure d'ammonium et le nitrate de calcium ont eu une action dépressive.

Action sur l'hygroscopicité. — L'hygroscopicité a été déterminée d'après la méthode bien connue qui consiste à mesurer la quantité d'eau fixée par 100 grammes de terre dans un dessicateur renfermant une solution titrée d'acide sulfurique, dont la tension de vapeur, à une température donnée, est fournie par les tables de Regnault. Les déterminations ont été effectuées à + 20°.

TENSION DE VAPEUR en MM DE HG.	EAU p. % DE TERRE SÈCHE			
	TÉMOIN. (N° 11.)	avec CHLORURE D'AMMONIUM. (N° 15.)	avec NITRATE DE SOUDE. (N° 17.)	avec FUMIER. N° 12. (28-11-33.)
1,25	0,84	0,84	0,95	0,94
2,5	1,13	1,19	1,29	1,27
5,0	1,66	1,69	1,74	1,80
7,5	2,15	2,15	2,31	2,31
10,0	2,63	2,57	2,80	2,79
12,5	2,88	2,78	3,06	3,08
15,0	3,50	3,42	3,54	3,85
16,5	4,49	4,49	4,81	5,35

Ces chiffres et les courbes qui les traduisent montrent que le nitrate de soude et le fumier accroissent nettement l'hygroscopicité du sol. Pour des tensions de vapeur inférieures à 7 mm. 5, c'est-à-dire dans la zone où la fixation de vapeur d'eau correspond à un simple phénomène d'adsorption et peut être regardée comme une action de surface, les deux courbes sont sensiblement confondues. Pour des tensions supérieures à 7 mm. 5, zone dans laquelle on considère que la structure des particules intervient dans la fixation de la vapeur d'eau par les microcapillaires, les deux courbes divergent sensiblement et les matières organiques sont plus actives que le nitrate de soude.

Observons en terminant qu'il n'y a pas de parallélisme marqué entre les modifications chimiques et les modifications physiques qu'un même engrais peut déterminer dans le sol. C'est ainsi que les sels ammoniacaux provoquent très rapidement une acidification très nette du sol. Alors que cette acidification était déjà manifeste au bout d'un an, aucune action bien marquée sur la structure, l'humidité et l'hygroscopicité du sol ne peut être constatée au bout de cinq ans. Par contre, l'apport de matières organiques sous forme de fumier, qui n'a pas modifié la réaction du milieu, a agi très nettement sur la structure du sol, sur l'état des agrégats, la capacité pour l'eau, l'état d'humidité et l'hygroscopicité. Ces modifications s'exercent dans un sens favorable à la végétation.

LA TEMPÉRATURE DU SOL.

ACTION PARTICULIÈRE DU FROID. SES CONSÉQUENCES DU POINT DE VUE AGRONOMIQUE,

PAR

H. GESLIN,

CHEF DE SERVICE À LA STATION CENTRALE DE PHYSIQUE ET DE CLIMATOLOGIE AGRICOLES DE VERSAILLES.

Le sol résulte de l'association d'un support minéralogique avec un complexe colloïdal. Ce dernier évolue à chaque instant dans un sens déterminé qui caractérise sa dynamique et qui dépend essentiellement des conditions climatiques (Demolon). Parmi celles-ci, la température joue un rôle fondamental. Qu'il s'agisse des phénomènes de décomposition ou de migration conditionnés par l'eau, agent d'hydrolyse, des mouvements de l'eau dans le sol, de la plus ou moins grande richesse des dissolutions aux dépens desquelles s'effectue la nutrition minérale des végétaux, de l'activité des phénomènes microbiens ou de l'évolution de la microflore et de la microfaune du sol, on retrouve dans tous ces phénomènes, l'action souvent prépondérante de la température.

Nous procéderons du général au particulier en étudiant tout d'abord les conditions générales d'échauffement ou de refroidissement des sols qui nous conduiront aux lois de la propagation de la chaleur dans le sol et nous montrerons que celui-ci vérifie la « loi de modération » propre à tous les systèmes naturels comportant des équilibres.

Nous examinerons ensuite rapidement les variations liées soit à la nature différente des sols, soit au travail du sol par les instruments de culture. Enfin nous terminerons par l'étude de l'action du froid sur le sol et ses conséquences du point de vue agronomique.

I

LA TEMPÉRATURE DU SOL.

1. *Échauffement et refroidissement des sols.* — Les échanges de chaleur entre le sol et l'atmosphère peuvent être schématisés de la manière suivante :

Pendant le jour, le sol s'échauffe sous l'action de la radiation solaire; une partie seulement de l'énergie calorifique parvenue au sol est absorbée par celui-ci; l'autre est réfléchie. D'autre part, le sol rayonne constamment vers

l'atmosphère une quantité importante de chaleur; c'est à son contact que les couches d'air voisines s'échauffent; c'est à lui que l'eau emprunte l'énergie nécessaire à son évaporation. La nuit, les pertes l'emportent sur les gains et le sol se refroidit progressivement. Échauffement et refroidissement sont d'ailleurs d'autant plus intenses que l'atmosphère est plus transparente, la

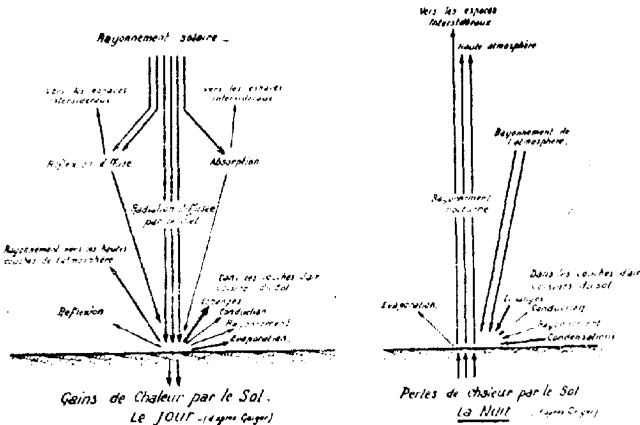


Fig. 1.

vapeur d'eau jouant ici le rôle principal. L'échauffement est, en outre, fonction de la déclinaison du soleil (obliquité des rayons), l'absorption par l'atmosphère de l'énergie rayonnée augmentant en progression géométrique quand la masse atmosphérique traversée croît en progression arithmétique (loi de Bouguer). De même, toutes conditions étant égales, la quantité de radiation reçue par un sol est proportionnelle au sinus de l'inclinaison des rayons solaires sur la surface : d'où l'importance de l'exposition.

En résumé, on observe à la surface du sol une variation diurne de la température, fonction de la radiation solaire et du rayonnement nocturne. A partir du lever du soleil, le sol s'échauffe rapidement, tend vers un maximum qui se produit vers 14 heures, puis, dès que les pertes de chaleur ne sont plus compensées par des gains équivalents, la température redescend progressivement. Des causes diverses pourront provoquer des variations secondaires de la température : en dehors des pluies et des condensations diverses, rappelons la combustion des matières organiques et les phénomènes thermiques dus aux colloïdes argileux et humiques.

2. *Lois de la propagation de la chaleur dans le sol.* — Sans entrer dans le détail de la théorie physique de la propagation de la chaleur dans le sol, nous nous bornerons à rappeler les trois lois qui en découlent (d'après Angot) :

a. L'amplitude des oscillations décroît en progression géométrique quand la profondeur croît en progression arithmétique;

b. Le retard de l'époque des maxima et des minima est proportionnel à la profondeur;

c. Pour des oscillations dont les périodes ont des durées différentes, les amplitudes sont réduites respectivement dans un même rapport pour des profondeurs proportionnelles aux racines carrées de la durée des périodes.

On voit, d'après ces lois, que les oscillations de température se propagent d'autant plus profondément dans le sol que leur période est plus longue. Les oscillations rapides sont, par suite, amorties très vite et, à une certaine profondeur, il ne parvient plus que les oscillations de longue durée. La variation diurne de la température ne se fait pratiquement plus sentir à un mètre de profondeur et, à o m. 50 elle est déjà de l'ordre du demi-degré pour une oscillation en surface de 25 degrés. Finalement, à une certaine profondeur, on n'observe plus de variation diurne ni annuelle, on rencontre une couche à température constante : c'est la couche invariable. Sa profondeur dépend à la fois de la nature du sol et de l'amplitude de la variation annuelle de température à la surface. Dans les pays tropicaux où cette amplitude est très petite, on la rencontre entre 6 et 15 mètres; Boussingault la signale même à 1 mètre (Amérique du Sud); dans les latitudes moyennes, on la trouve vers 20-25 mètres.

Enfin, au-dessous de la couche invariable, la température s'élève régulièrement de 1 degré par 33 mètres environ (degré géothermique).

3. *Loi de modération.* — L'étude comparée des quantités de chaleur moyennes mensuelles parvenant au sol et de la variation de la température est particulièrement suggestive. Considérons les valeurs de ces deux éléments pour le Parc-Saint-Maur [près Paris] (1). L'échauffement de l'air au voisinage du sol étant fonction de celui du sol, nous avons pris comme terme de comparaison,

	DURÉE MOYENNE DU JOUR.	TEMPÉRATURE MOYENNE T.	QUANTITÉ DE CHALEUR SUR 1 CM² DE SURFACE HORIZONTALE = I.	R = I/T.
Janvier	8.75	2.64	79	37
Février	10.10	3.83	166	47
Mars	11.85	6.25	274	46
Avril	13.65	9.58	374	37
Mai	15.20	13.43	455	35
Juin	16.05	16.45	496	30
Juillet	15.65	18.16	487	27
Août	14.30	17.70	434	25
Septembre	12.60	14.73	324	22
Octobre	10.77	10.01	187	19
Novembre	9.13	5.84	94	16
Décembre	8.30	3.37	68	25

non pas la température du sol, mais celle de l'air pour laquelle nous possédions une série plus complète d'observations.

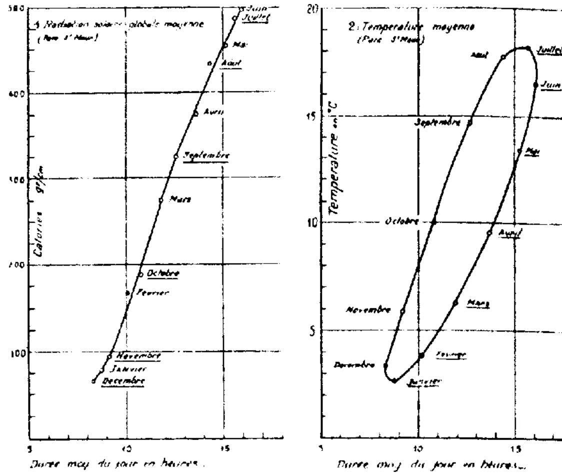


Fig. 2.

Afin de tenir compte des variations de la déclinaison du soleil dont dépen-

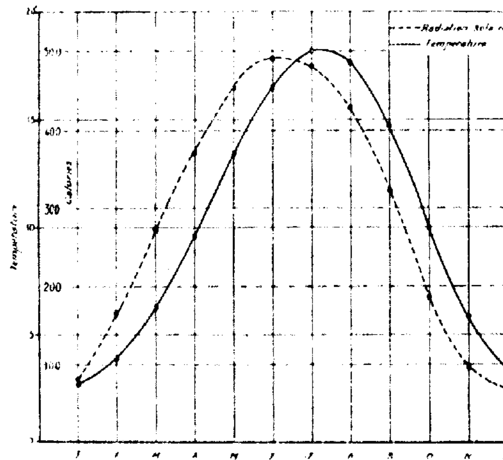


Fig. 3.

dent les quantités de chaleur reçues par le sol, nous avons établi les courbes de variation, non pas en fonction des mois, mais par rapport à la durée moyenne du jour de chaque mois. Comme on pouvait s'y attendre (courbe I), les quan-

tités de calories reçues au cours d'une journée pour une durée du jour donnée sont identiques; il y a une correspondance très satisfaisante entre les différents mois homologues (mars-septembre, août-avril), compte tenu de la différence dans la durée du jour. Le minimum de la radiation solaire s'observe au solstice d'hiver et le maximum au solstice d'été. La courbe II, par contre, est toute différente. La température de septembre est très supérieure à celle du mois homologue correspondant. On obtient ainsi, sinon une mesure, du moins une image donnant une idée de l'augmentation progressive de ce qu'on pourrait appeler «le potentiel thermique» de la terre.

Température et radiation solaire varient dans le même sens avec toutefois un léger décalage, le minimum de température ne se produisant qu'en janvier-février, et le maximum en juillet-août. Mais leurs variations ne sont pas proportionnelles comme en témoigne l'examen du rapport I/T. En effet la température T, qui caractérise un certain état thermique du sol, est la résultante de deux actions principales qui s'opposent, l'une due à la radiation solaire elle-même (apport de calories), l'autre au rayonnement nocturne (pertes de calories). Dans ces conditions, théoriquement, le rapport I/T devrait être maximum en décembre-janvier et minimum en juin-juillet, c'est-à-dire à l'époque des solstices correspondant aux durées maxima et minima du rayonnement nocturne. Pratiquement, le maximum s'observe en février et le minimum en novembre. Le décalage du maximum s'explique facilement par le fait que l'apport de calories au moment du solstice d'hiver étant très faible et le rayonnement nocturne intense, le sol n'arrive à son zéro thermique qu'en janvier-février alors que la radiation solaire augmente depuis janvier : l'écart entre I et T est donc maximum à cette époque. Très rapidement, l'apport de calories augmentant et la durée du rayonnement nocturne diminuant, cet écart tend à se combler et le rapport I/T diminue. A partir de juin, l'énergie solaire diminuant plus vite que la température, le rapport I/T continue à décroître jusqu'en novembre. A ce moment, le rayonnement nocturne l'emporte, l'apport journalier de calories est de plus en plus faible, le sol continue à se refroidir alors que, dès décembre, I commence à croître : il en résulte une variation inverse du rapport I/T.

Comme le montre le graphique ci-après, on devra finalement distinguer deux phases dans la variation de température des couches superficielles du sol; une phase chaude où le gradient de température est dirigé de haut en bas et une phase froide où le gradient est orienté de bas en haut, les inversions de température se produisant à l'époque des équinoxes.

En résumé, le sol apparaît comme un milieu mauvais conducteur de la chaleur possédant une certaine aptitude à régulariser sa température. Il s'oppose aux variations brusques de celle-ci et cette résistance s'accroît rapidement avec la profondeur. Aussi Demolon a-t-il pu dire que le sol vérifie «la loi de modé-

ration », loi générale propre à tous les systèmes naturels comportant des équilibres et qui peut s'énoncer ainsi : « Lorsqu'un système en équilibre est soumis à une action extérieure qui tend à le déformer, les modifications résultant de cette déformation tendent à s'opposer à la continuation de l'action. »

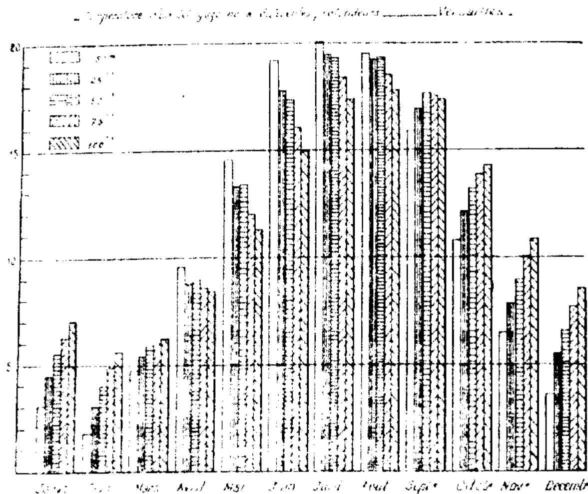


Fig. 4.

4. *Influence de la nature et de l'état physique du sol.* — Les conditions d'échauffement et de refroidissement d'un sol donné dépendent :

a. De son pouvoir absorbant et de son pouvoir émissif;

b. De sa capacité calorifique;

c. De sa conductibilité thermique.

Le *pouvoir absorbant* est toujours supérieur au pouvoir émissif (il n'intéresse d'ailleurs pas les mêmes radiations), d'où il résulte un emmagasinement de chaleur dans le sol. On admet généralement que la coloration du sol joue un rôle notable dans cette absorption de l'énergie solaire. Dans les cas extrêmes (journée chaude avec forte insolation), la différence de température en surface entre un sol couvert de noir de fumée et un sol couvert de chaux est de l'ordre de 7 à 8 degrés. Mais en réalité, la question de la coloration est secondaire. A ce point de vue, le pouvoir absorbant étant d'autant plus faible, toutes autres conditions étant égales d'ailleurs, que le pouvoir réfléchissant est plus grand, les mesures de l'albedo d'un sol, c'est-à-dire de la quantité d'énergie lumineuse incidente réfléchie par un sol, nous semblent intéressantes. Voici

quelques chiffres dus à Angström (2) qui montrent en particulier l'influence de l'humidité sur la diminution de l'albedo.

	SOL À L'ÉTAT SEC.	SOL À L'ÉTAT HUMIDE.
Sols nus :		
Terre noire	0,14	0,08
Granit (en partie couvert de lichenoïdes)	0,12 à 0,15	–
Sable plus gris	0,18	0,09
Sols couverts :		
Bruyère	0,18	–
Herbage de couleur claire	0,31 à 0,33	0,22
Toile blanche	0,63	–
Neige âgée	0,70	–
Neige fraîchement tombée, unie et brillante	0,81	–

L'échauffement du sol, sous l'action des calories qu'il absorbe, est fonction de sa *chaleur spécifique* ou mieux de sa capacité calorifique; celle-ci peut s'écrire sous la forme :

$$C = c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3 + \dots$$

où c_1, c_2, c_3 ... sont les chaleurs spécifiques des différents éléments constituant le sol et m_1, m_2, m_3 ... les masses respectives de chacun d'eux. Dans les conditions naturelles, c'est évidemment la capacité calorifique rapportée à l'unité de volume du sol en place qu'il importe de considérer. La chaleur spécifique de l'air étant pratiquement négligeable, celle de l'eau au contraire, très supérieure, par rapport à celle des différents constituants du sol voisine de 0,2, la capacité calorifique d'un sol en place sera extrêmement variable suivant les proportions d'air et d'eau qui y sont contenues. Les chiffres suivants, dus à Mitscherlich et déduits par le calcul des chaleurs spécifiques des différents éléments, n'ont donc qu'une valeur indicative, nous fixant sur l'ordre de grandeur des variations susceptibles d'être rencontrées dans la pratique.

CHALEURS SPÉCIFIQUES RAPPORTÉES À L'UNITÉ DE VOLUME (MITSCHERLICH).

	À L'ÉTAT SEC.	50 0/0 DE SATURATION.	COMPLÈTEMENT SATURÉ.
Sol sableux	0.302	0.510	0.717
Sol argileux	0.240	0.532	0.823
Sol humifère	0.148	0.525	0.902

Les sols saturés d'eau s'échauffent et se refroidissent lentement. C'est l'inverse dans le cas des sols secs. D'où les expressions courantes en agronomie de sols secs et brûlants et de sols froids et humides.

De même, en ce qui concerne la *conductibilité calorifique*, celle des différents éléments du sol est de l'ordre de 0,001 à 0,006; mais, si on tient compte, comme précédemment, de la porosité naturelle des sols en place, la conductibilité thermique s'abaisse à 0,00040 en moyenne et, ici encore, la teneur en eau jouera un rôle essentiel.

Coefficients de conductibilité thermique en calories (Karsten).

	A L'ÉTAT SEC.	A L'ÉTAT SATURÉ.
Sable fin	0,00046	0,0039
Sable grossier	0,00047	0,0041
Limon	0,00033	0,0021
Limon sableux	0,00045	0,0032
Tourbe	0,00027	0,0011

Rappelons pour fixer les idées que la conductibilité de l'eau est de 0,001, celle de l'air 0,00005; celle de la neige varie de 0,0007 (neige âgée) à 0,0002 (neige fraîche).

Ainsi, les conditions d'échauffement et de refroidissement d'un sol sont susceptibles de varier dans d'assez grandes limites, suivant notamment la nature de ses constituants et son état physique, ce dernier étant surtout fonction, dans la pratique, du travail du sol et de l'action des facteurs climatiques. Or les fluctuations de la température nous rendent justement compte des aptitudes différentes des sols à utiliser et à conserver l'énergie radiante qui leur est fournie et ce sont ces variations qui sont intéressantes à connaître en agronomie.

Pour compléter et illustrer cet exposé, nous ne pouvons mieux faire que de donner deux exmples, l'un emprunté aux observations déjà anciennes de Th. Homen (3), montrant l'influence de la nature du sol, l'autre à celles plus récentes de W. Schmidt (4), sur l'influence du travail du sol.

a. Les variations de température se transmettent d'autant plus en profondeur que le sol est meilleur conducteur. Pour une roche compacte comme le granit, la variation journalière de température est encore sensible à plus de 60 centimètres. Dans un sol tourbeux, au contraire, dont le coefficient de conductibilité est faible, les variations sont totalement amorties à 30 centimètres

de profondeur. Quant à l'amplitude des variations en surface, c'est dans le sable qu'elle est la plus importante; viennent ensuite le granit et la tourbe;

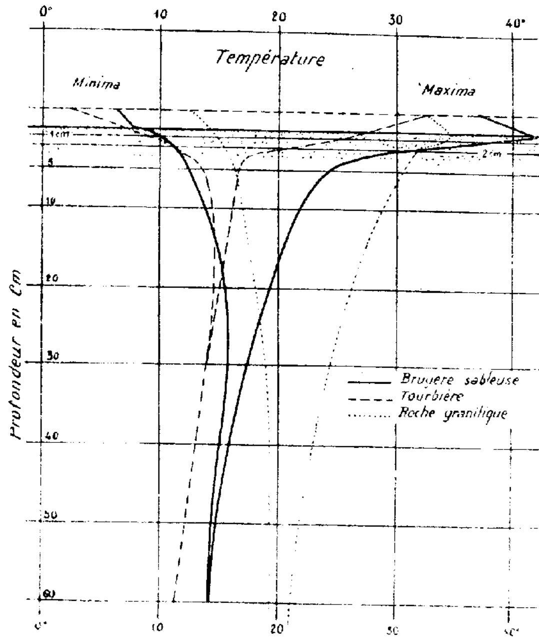


Fig. 5.

b. Le travail du sol ne portant que sur les couches superficielles, c'est en surface que l'on doit observer les plus grandes différences dans la température : un sol ameubli a une capacité calorifique plus faible que s'il est tassé et s'échauffera plus fortement; de même, il se refroidira plus vite; les viticulteurs en particulier n'ignorent pas qu'au printemps, les gelées blanches sont particulièrement à craindre dans les sols fraîchement labourés. Bien entendu, les différences observées en surface s'amortissent très rapidement avec la profondeur. (*Voir* graphiques, page suivante.)

II

LE FROID ET LE SOL.

1. ***Refroidissement du sol. Gelées.*** — Dès que la température s'abaisse suffisamment, le sol se prend en masse. Si le refroidissement n'est pas excessif et que, dans la journée, la température soit supérieure à zéro degré centigrade, on observe seulement un gel nocturne suivi de dégel, et dans ces conditions,

la profondeur de sol gelé atteint au maximum quelques centimètres. Si, au contraire, les températures se maintiennent suffisamment basses, le gel gagne en profondeur. Dans les régions froides où la température reste constamment au-dessous de zéro pendant plusieurs mois, le sol peut rester pris en masse toute l'année à de grandes profondeurs. Ainsi, à Iakoust, à 20 mètres de pro-

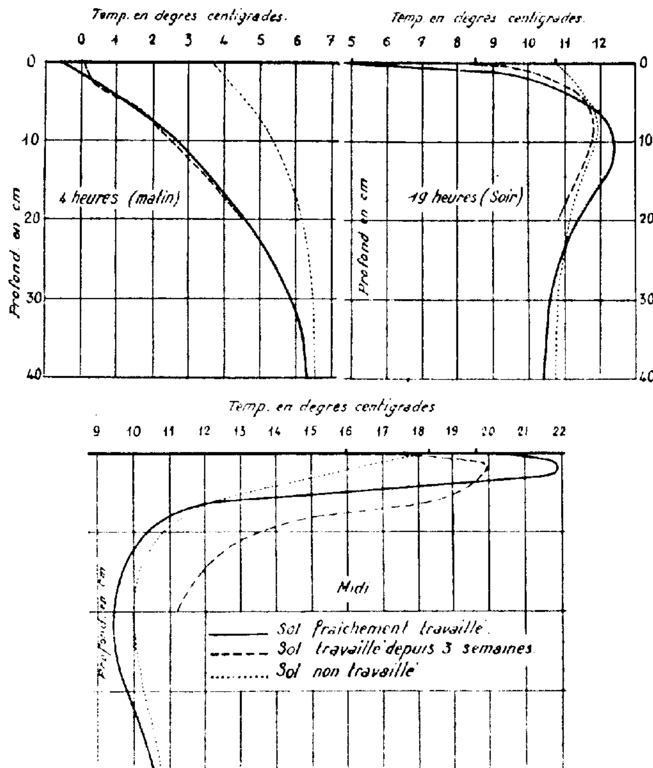


Fig. 6.

fondeur, on note une température constante de — 7° 3 et le zéro ne doit se rencontrer que vers 190 mètres. Dans nos régions à climat tempéré, au cours des hivers les plus rigoureux, la profondeur de sol gelé n'atteint que rarement un mètre.

Le gradient de pénétration de la gelée dans le sol est très variable, dépendant de l'intensité du refroidissement et aussi de la nature et de l'état du terrain considéré. En général, il est de l'ordre de 1 à 2 centimètres par 24 heures. Ainsi à Tomblaine, près Nancy, au cours de l'hiver rigoureux 1890-1891,

M. Guillaume a trouvé dans des terrains argileux, crayeux et tourbeux, respectivement des gradients de 18 millimètres, 11 millim. 4 et 10 millimètres. Parfois la congélation des sols peut s'effectuer beaucoup plus rapidement. Ainsi, en 1929, à Versailles [Geslin] (5), dans une terre de limon, nous avons noté entre le 10 et le 17 février, un approfondissement de la gelée de 10 à 44 centimètres, soit près de 5 centimètres par jour. Il est vrai qu'au cours de cette période, l'abaissement de température a été particulièrement considérable : pour les quatre journées du 12 au 15 février, la moyenne des minima à 5 centimètres au-dessus du sol a été de −14° 5, les maxima restant inférieurs à − 6 degrés. En outre, bien qu'aucune mesure n'ait été effectuée, on peut penser que les températures extérieures se maintenant basses depuis le 1er décembre, celles du sol jusqu'à o m. 50 de profondeur devaient être voisines de zéro et il aura suffi d'une variation brusque de température pour provoquer le gel rapide du sol. A l'automne 1933, au contraire, dans le même terrain. le sol est relativement chaud et le gradient de gel n'est plus que de l'ordre de 2 centimètres par 24 heures.

Plus les sols sont compacts, plus leur conductibilité thermique est grande et plus la gelée pénètre profondément dans le sol. C'est ainsi que V. Novàk (6), au cours de l'hiver 1928-1929, note les profondeurs de congélation maxima suivantes : 80 centimètres dans les endroits souvent foulés au pied, 100 centimètres dans les chemins des champs et jusqu'à 160 centimètres dans les rues pavées (à Brno).

La neige constitue, comme on l'a dit souvent, un véritable manteau pour le sol. Ainsi, le 27 janvier 1929, à Versailles, on note − 3° 4 sur le sol sous la neige, contre − 12° 8 à 5 centimètres au-dessus du sol, soit un écart de 9° 4 bien que l'épaisseur de la couche de neige ne soit que de 1 centim. 4. Du 26 au 29 janvier, la moyenne des minima sous la neige est de − 3° 3 contre − 7° 5 à 5 centimètres au-dessus; K. Opitz (7), à Dahlem, trouve des résultats du même ordre. On conçoit donc que, d'une manière générale, plus la couverture de neige est épaisse, moindre est la profondeur de pénétration de la gelée pour un sol donné. Quand la neige tombe sur un sol pris seulement en surface, la gelée, sous une couche de neige suffisamment épaisse, peut ne pas avoir d'action sur le sol, même dans le cas où elle dure plus de deux mois. Ainsi, Novak (6) et Simola (8) constatent que dans les régions élevées où la neige fait son apparition beaucoup plus tôt que dans les régions basses, l'épaisseur de la zone gelée est, la plupart du temps, très faible.

La couverture végétale du sol ralentit de même la vitesse de pénétration de la gelée. Voici quelques observations faites à Versailles en décembre 1933, comparativement dans un sol gazonné et un sol nu.

PÉNÉTRATION DE LA GELÉE DANS LE SOL (VERSAILLES 1933).

SOL NU.	SOL GAZONNÉ.
15 décembre 1933 :	
Sol gelé de 0 à 33 centim. 5	Sol gelé de 0 à 17 centimètres.
19 décembre 1933 :	
Sol gelé de 0 à 44 centimètres.	Sol gelé de 0 à 25 centimètres.
23 décembre 1933 :	
Sol gelé de 0 à 41 centimètres.	Sol gelé de 0 à 23 centimètres.
27 décembre 1933 :	
Sol dégelé en surface 7 centimètres + gelé 27 centimètres.	Sol dégelé en surface 2 centimètres + gelé 19 centimètres.
28 décembre 1933 :	
Sol dégelé en surface 9 centimètres + gelé 24 centimètres.	Sol dégelé en surface 3 centimètres + gelé 18 centimètres.
29 décembre 1933 :	
Sol gelé 3 centimètres : dégelé 6 centimètres + gelé 24 centimètres.	Sol dégelé en surface 5 centimètres + gelé 16 centimètres.
30 décembre 1933 :	
Sol gelé 2 centimètres + dégelé 7 centimètres + gelé 24 centimètres.	Sol gelé 2 centimètres + dégelé 3 centimètres + gelé 16 centimètres.
2 janvier 1934 :	
Sol gelé 2 centimètres : dégelé 7 centimètres + gelé 22 centimètres.	Sol dégelé 5 centimètres + gelé 13 centimètres.
6 janvier 1934 :	
Sol gelé 3 centim. 5 + dégelé 8 centimètres + gelé 13 centimètres.	Sol gelé 3 centimètres, le reste dégelé.
Dégel complet le 12 janvier 1934.	Dégel complet le 10 janvier 1934.

Enfin, le graphique ci-après figure l'isotherme zéro en terrain découvert et en forêt. Sous bois, la gelée descend plus tardivement et beaucoup plus lentement. Inversement, au début de mars, le sol de forêt est complètement dégelé pendant que, en terrain découvert, le sol est encore gelé sur 40 centimètres de profondeur. Ce dernier ne se dégèlera complètement qu'à la mi-mars.

Lorsque la température se relève et que le dégel commence, celui-ci se produit en général simultanément par le haut et par le bas, comme en témoignent les observations faites à Versailles au cours de l'hiver 1928-1929 (5), mais

plus rapide par le haut; toutefois si le sol est couvert d'une couche épaisse de neige, le dégel des couches les plus profondes peut être le plus important (Simola).

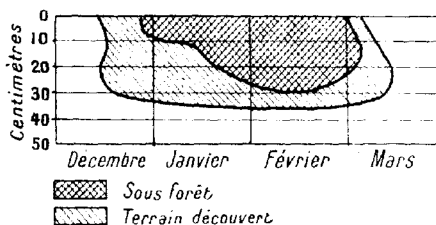


Fig. 7 [1].

2. *Action du froid sur la structure et la texture du sol.* — Le sol se présente sous la forme d'un assemblage très hétérogène de particules, particules élémentaires ou associées à l'état d'agrégats plus ou moins cohérents et volumineux. Les modifications provoquées par la gelée sont dues essentiellement à la présence de l'eau. Suivant la quantité d'eau contenue dans le sol, l'état de structure de celui-ci, la nature de ses constituants, notamment sa teneur en colloïdes, la façon dont s'effectue le gel (refroidissement lent ou rapide) on pourra observer soit des *phénomènes d'agrégation*, soit de *dispersion*.

Actions d'agrégation : l'eau, dans le sol, peut être considérée de trois points de vue différents : on peut distinguer *l'eau libre*, celle qui, remplissant les espaces lacunaires plus ou moins volumineux du sol, est susceptible de se mouvoir par simple gravité; *l'eau de capillarité*, celle retenue par les forces capillaires dans les canaux d'un certain diamètre ou formant de minces pellicules à la surface des particules; *l'eau d'imbibition*, propre aux colloïdes.

En cas de gelée, dans les conditions naturelles *, c'est évidemment l'eau libre qui se congèle la première : on observe une formation de cristaux dans les lacunes les plus grosses du sol, qui se développent progressivement en se nourrissant au détriment de l'eau contenue dans les capillaires ou retenue par les colloïdes, dont le point de congélation est bien inférieur à zéro degré. Ainsi, d'une part, l'eau augmentant de volume par passage de l'état liquide à l'état solide, d'autre part, les cristaux formés s'accroissant d'une manière continue, il s'ensuit que les espaces lacunaires du sol sont rapidement obstrués et que des pressions considérables ne tardent pas à s'exercer sur les

* Nous négligerons volontairement ici l'étude de l'action des très basses températures qui ne présente aucun intérêt du point de vue pratique.

[1] Extrait de A. Demolon : « Dynamique du sol ». Dunod, éditeur.

particules du sol *. On observe une sortie d'eau par pression et les particules élémentaires ou les agrégats, comprimés les uns contre les autres, tendent à se souder et à donner des agrégats peu stables [H. Gorka] (10) qui rentrent dans la catégorie des *faux agrégats* (Demolon). D'où un premier processus de formation des agrégats.

L'action du gel peut être beaucoup plus profonde. Nous avons vu que l'accroissement des cristaux de glace formés dans les interstices du sol pouvait se faire en particulier aux dépens de l'eau retenue par les colloïdes. Dans ce cas, on tend vers une véritable déshydratation de ceux-ci, ce qui entraîne leur pectisation. On est ainsi en présence d'un second processus de formation d'agrégats par déshydratation [Erhenberg (9), Jung (11)] analogue à celui décrit par Demolon et Hénin (12) en ce qui concerne la floculation des colloïdes par déshydratation, par dessiccation. Notons à ce propos une grande différence dans la façon de se comporter des colloïdes argileux et humiques. La tourbe et les colloïdes humiques subissent du fait du gel une forte déshydratation en partie irréversible. La tourbe perd partiellement la faculté de se gonfler. En outre, au cours de la déshydratation, il se produit une adsorption d'air qui empêche ultérieurement la matière de se mouiller et la rend pulvérulente. Les colloïdes humiques en solution sont floculés d'une façon durable par le gel. Au contraire, l'argile ainsi floculée rentre facilement en suspension.

A côté des actions physico-chimiques que nous venons d'étudier, rappelons que la congélation favorise la coagulation en présence d'électrolytes comme c'est le cas dans les conditions naturelles. Si le sol a été soigneusement lavé à l'eau distillée, la congélation n'a pas d'influence appréciable sur le degré de dispersion de la suspension. Ainsi, l'action du froid diffère suivant la teneur de la suspension en électrolytes [Wiegner] (13).

De même, suivant la teneur du sol en bases échangeables et surtout suivant leur nature, la gelée pourra agir différemment. On connaît en particulier, l'influence du calcium sur le maintien de la floculation de l'argile. Erhenberg et Given (14) ont montré que la charge d'écrasement d'une argile saturée de chaux, gelée et séchée est de l'ordre de 200 grammes alors que, pour une argile non saturée et traitée dans les mêmes conditions, elle passe à 8 kilo-

---

* Erhenberg (9) désigne sous le nom de «pression de cristallisation» celle due à l'accroissement des cristaux de glace, par opposition à la «pression des couches de glace», due à l'augmentation du volume de l'eau par passage à l'état solide. Erhenberg signale en outre comme non négligeable, la pression développée par la dilatation de la glace, au moment d'un relèvement de température, le coefficient de dilatation de la glace étant environ quinze fois plus grand que celui des constituants du sol.

grammes : l'argile chaulée conserve sa forme granuleuse au dégel ; non chaulée, elle se peptise et fond en boue.

Actions de dispersion : Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que des actions d'agrégation. On peut concevoir facilement que l'on puisse observer des effets d'émiettement. Ainsi, dans les conditions naturelles, on voit au moment du dégel, les grosses mottes de terre laissées par la charrue se briser et se fragmenter dans leur masse, tendant vers cette structure grumeleuse favorable à la végétation.

Cette action d'émiettement peut-elle s'exercer sur les petits agrégats [agrégats stables au sens de Demolon et Hénin] (12) et sur les particules élémentaires elles-mêmes dont la partie périphérique a vraisemblablement la structure d'un gel dans le cas de l'argile? On pourrait concevoir, en effet, que le passage à l'état de glace de l'eau retenue dans ces fins capillaires provoque une dislocation de la masse (phénomènes d'éclatement). Cela ne serait possible que dans le cas d'un refroidissement suffisamment intense et brutal où l'on observe la formation de petits et nombreux cristaux, alors que dans le cas d'un refroidissement lent, on observe de gros cristaux entre lesquels se forment des agrégats (Erhenberg). Les expériences de Bourdelle (15) sur «l'analyse mécanique des agrégats» avant et après la gelée montrent que celle-ci n'a aucune action sur la structure. De même Mitscherlich (16) déduit des mesures de la chaleur d'humectation que la surface d'un sol n'est pas sensiblement modifiée sous l'action du froid, les différences obtenues étant de l'ordre des erreurs d'expériences. Cependant, Czermak (17) en déterminant l'hygroscopicité, conclut à une diminution de surface provoquée par le gel, beaucoup plus marquée pour la couche arable que pour le sous-sol qui contient moins de colloïdes; les variations sont d'ailleurs très faibles. Au contraire, Smolik (18) constate une augmentation de surface, tout au moins dans le cas d'une terre suffisamment humide; mais les résultats ne sont pas plus significatifs. De même, alors que B. Batz (19) observe une augmentation de l'hygroscopicité du fait de la gelée, F. Giesecke (20) ne peut mettre une telle action en évidence.

Erhenberg, devant la divergence des résultats obtenus, conteste la valeur des méthodes précédentes et indique comme meilleure la détermination de la viscosité. H. Gorka (10), expérimentant sur trois argiles différentes, constate une augmentation considérable de la viscosité sous l'action de la gelée et d'un traitement mécanique; d'après l'auteur, celle-ci est d'autant plus forte qu'il y a fixation de l'agent dispersant par les particules (gonflement), ce qui accroît leur volume et entraîne une élévation de viscosité. En outre, les essais de sédimentation ont montré, qu'après la gelée, il y a une forte augmentation du volume du dépôt; l'auteur l'explique par une désagrégation et un gonfle-

ment des particules mises en liberté. De même, dans le cas de l'argile gelée, il se dépose dans le même temps une moindre masse d'argile que pour une argile non gelée. D'après ces expériences, H. Gorka conclut à une augmentation de la dispersion par le froid. Il ajoute d'ailleurs que seule l'action dispersante de la gelée peut être mise en évidence par application de cette méthode, car les agrégats qui peuvent se former sous l'action du froid sont détruits par l'agitation mécanique qui précède la détermination de viscosité.

De l'ensemble des travaux publiés, il semble bien se dégager la conclusion que la gelée n'a que peu ou pas d'action sur la texture ni sur la microstructure du sol. Nous avons vu que la simple analyse mécanique des agrégats, avant et après la gelée, conduit Bourdelle (15) aux mêmes résultats. Mais il ne faut pas oublier que dans toutes ces expériences, nous ne pouvons tenir compte que des agrégats stables, c'est-à-dire ceux donnés par la floculation des colloïdes du sol sur les particules minérales qu'ils englobent. Or, la structure de nos sols agricoles est essentiellement provisoire et instable, due à la formation de faux agrégats, c'est-à-dire de ceux qui peuvent se former sous l'action des forces de compression mises en jeu par les façons aratoires par exemple. L'action du froid apparaît comme étant du même ordre; le foisonnement qui en résulte est comparable à celui consécutif à un labour [Demolon et Bourdelle] (12-15). C'est ce côté pratique du problème que nous allons étudier maintenant.

3. *Foisonnement du sol.* — Nous avons vu que, sous l'action de la gelée, par suite, d'une part, de l'augmentation de volume de l'eau par passage à l'état solide, d'autre part, de l'accroissement continu des cristaux formés dans les lacunes du sol, celles-ci sont rapidement obstruées. Sous ces diverses pressions, les espaces lacunaires contenant initialement de l'eau s'agrandissent, les autres se comblent et les particules du sol sont de plus en plus fortement comprimées. A partir d'un certain moment, quand les phénomènes de compression sont maxima, la pression de la glace continuant à s'exercer en de multiples points de la masse du sol, on observe un soulèvement général de ce dernier : le sol foisonne.

Le foisonnement sera très variable suivant les sols et dépendra notamment de leur état de tassement au moment des gelées et de leur humidité. Quelle peut être son importance ? Les mesures directes effectuées sur des sols en place par Kokkonen (21) sont particulièrement suggestives à cet égard. Rappelons brièvement le dispositif expérimental de l'auteur : on dispose dès l'automne, dans différents sols, une série de tiges témoins; celles-ci sont placées verticalement, les blocs de ciment les supportant étant enterrés à une profondeur telle que les mouvements de la surface du sol ne puissent provoquer un déplacement accidentel des tiges; les mesures sont faites par rapport à des repères

initiaux avec un appareil de nivellement de Zeiss. Dans chaque carré d'essais, le nombre de tiges est au minimum de 10, le plus souvent de 20, espacées de 1 à 1 m. 50.

Voici les résultats d'ensemble obtenus par Kokkonen pour des sols différemment cultivés :

FOISONNEMENT DES SOLS (KOKKONEN).

	HIVER 1928-1929.		HIVER 1929-30.	
	FOISONNEMENT MAXIMUM en cm.	FOISONNEMENT EN o/o de l'épais. gelée (60 cm.).	FOISONNEMENT MAXIMUM en cm.	FOISONNEMENT EN o/o de l'épais. gelée (24 cm.).
Prairies graminées-trèfle	4.37	7.3	–	–
— fléole-trèfle	5.39	9.0	–	–
— fléole-fétuque I	5.00	8.3	3.03	12.6
— fléole-fétuque II	3.91	6.5	–	–
— fléole	4.83	8.1	4.01	16.7
Sol cultivé en seigle	6.54	10.9	–	–
Sol cultivé en blé	6.66	11.1	–	–
Parcelle d'essais sur trèfle à peu près dénudée	–	–	5.41	22.5

Ainsi, le foisonnement du sol peut atteindre des valeurs importantes variant de 3 à 7 centimètres. Comme on pouvait s'y attendre, les variations sont plus grandes en sol nu que dans les prairies où les oscillations de température sont amorties. Si on évalue le soulèvement du sol en p. 100 de l'épaisseur totale de sol gelé, il est de l'ordre de 7 à 16 p. 100 pour les prairies et de 10 à 22 p. 100 dans le cas d'un sol nu. Ces chiffres sont tout à fait comparables à ceux trouvés par Bourdelle (15) à Versailles en ce qui concerne le foisonnement dû à un labour à la bêche : l'augmentation de volume est de l'ordre de 16 à 23 p. 100 du volume de terre remuée (dans une terre de limon). Remarquons enfin que le soulèvement observé est proportionnellement beaucoup plus important en 1929-1930 qu'en 1928-1929 par rapport à l'épaisseur de sol gelé. L'hiver 1929-1930 ayant été plus doux que le précédent, doit-on en conclure qu'il fut plus pluvieux, d'où une humidité du sol plus grande entraînant un foisonnement plus élevé? Plus simplement, les chutes de neige beaucoup plus abondantes en 1928-1929 suffisent-elles à expliquer ces différences? Kokkonen ne précise pas ce point.

La formation de faux agrégats sous l'action de la gelée, le foisonnement du sol qui l'accompagne, créent dans celui-ci une structure toute particulière et provisoire qui ne doit sa stabilité qu'au fait que la glace maintient l'équilibre

de cet édifice extrêmement lâche et instable; celui-ci ne demandera qu'à s'écrouler dès que le dégel provoquera le vide dans les espaces lacunaires par suite de la fusion de la glace et de l'écoulement de l'eau. On devra donc observer un tassement du sol au dégel. Comment s'effectue-t-il? Rapide au début, il tend ensuite plus lentement vers son état d'équilibre initial. Les observations de Kokkonen sont très significatives :

Tassement du sol après le gel (Kokkonen).

	Soulèvement de la surface du sol.						
	Hiver 1928-1929.			Hiver 1929-1930.			
	11/4 29.	17/5 29.	19/6/29.	14/2/30.	17/3/30.	10/4/30	19/5/30
Sol de prairies	4 cm. 7	0.67	0.02	3.52	3.67	2.68	0.05
Sol de culture	6 cm. 6	1.35	0.17	5.41	3.29	2.35	Sol travaillé.

En 1928-1929, le dégel n'est définitif qu'au 15 mai et déjà le sol s'est retassé par rapport à son niveau d'avant les gelées de 4 centim. 7 à 0,67. En 1929-1930, le dégel n'étant pas encore terminé, on note au 10 avril un foisonnement de 2,68 contre 3,67 lors du maximum. Dans les deux cas, un mois après le dégel, le sol est pratiquement revenu dans l'état où l'avaient laissé les travaux d'automne. Notons enfin que les conditions climatiques au moment du dégel (pluies notamment) doivent avoir une grande influence sur la plus ou moins grande rapidité du tassement.

4. *Influence du gel sur la répartition de l'eau dans le sol.* — Kokkonen (22), dans un sol sableux fin, a fait les observations suivantes : avant les gelées, la distribution de l'eau dans le sol est à peu près constante avec la profondeur; au moment du froid on constate une augmentation nette de l'humidité dans la zone gelée, s'effectuant aux dépens de l'eau des couches inférieures non gelées, où on note une diminution sensible de l'humidité.

D'autre part, au lieu d'une répartition à peu près régulière dans toute la masse du sol des cristaux de glace formés dans les espaces lacunaires, on observe de véritables couches de glace alternant avec des couches où ne sont visibles que peu de cristaux. C'est entre 3 et 8 centimètres de profondeur que Kokkonen note la plus forte concentration de cristaux coïncidant d'ailleurs avec la zone d'humidité maximum. Cette accumulation près de la surface semble un fait d'ordre général : des expériences effectuées sur des blocs prismatiques d'ar-

gile fraîchement extraite et exposés au froid le confirment et montrent en outre qu'elle est d'autant plus importante que le gel s'effectue plus lentement.

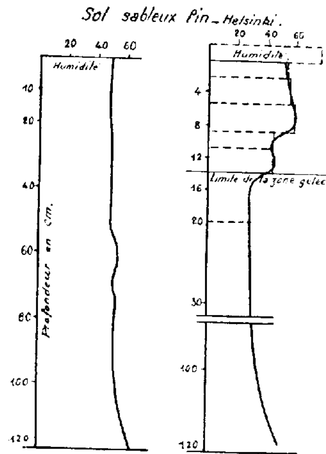


Fig. 8.

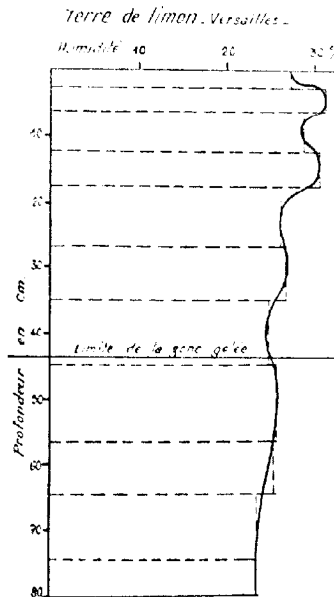


Fig. 9.

Nos observations personnelles faites à Versailles en terre de limon, en décembre 1933, conduisent à des résultats du même ordre. Elles furent

effectuées au moment où la profondeur de sol gelé était maximum (44 centim.). La zone d'humidité la plus élevée est observée entre 3 et 16 centimètres coïncidant avec l'existence de trois couches de glace bien distinctes, situées à 3, 8 et 13 centimètres; au-dessous de ce niveau, il n'est plus possible de repérer des couches bien définies; la répartition des cristaux est très irrégulière. Cette accumulation de cristaux de glace à des niveaux bien déterminés peut-elle s'expliquer par des arrêts dans le refroidissement? Il est difficile de l'affirmer. Toutefois, coïncidant avec des relèvements de la température extérieure, on constate des ralentissements dans l'approfondissement de la gelée dans le sol, correspondant à ces niveaux.

Au moment du dégel, si celui-ci se produit de haut en bas, comme c'est le cas général dans nos régions, on conçoit que l'excédent d'eau se trouvant dans les couches superficielles du sol puisse en faciliter le tassement ou favoriser la peptisation des colloïdes.

5. *Action des gelées sur le sol du point de vue agronomique. Conclusions.* — En résumé, le froid apparaît comme un excellent agent d'ameublissement des sols. A ce point de vue, c'est le meilleur et le plus économique des instruments de culture, car l'émiettement porte non seulement sur les parties les moins résistantes du sol, mais aussi sur les parties les plus tenaces (Mitscherlich). Mais étant donné que l'époque et l'importance des gelées sont très variables et imprévisibles, on conçoit que la «qualité du travail effectué» soit elle-même très diverse. En général, on admet qu'à la suite des labours d'automne, les gelées d'hiver assurent un bon émiettement ultérieur des mottes, amenant le sol à cet état de structure finement granuleuse favorable au développement des plantes. Ce sera en particulier le cas pour les bonnes terres où les colloïdes associés en proportion suffisante, mais non excessive, aux éléments sableux sont maintenus floculés par le calcium. Dans certains cas au contraire, soit par suite d'une humidité excessive au moment des gelées, soit par suite de gelées prolongées, de gels ou dégels successifs fréquents ou de la composition physico-chimique même du sol, on peut tendre vers une véritable pulvérisation des couches superficielles, entraînant un tassement rapide du sol (diminution de l'aération). Les conditions météorologiques au moment du dégel seront souvent prépondérantes sur l'effet ultérieur des gelées : des pluies abondantes pourront en particulier annihiler leur effet bienfaisant en amenant un tassement trop rapide du sol ou en provoquant la transformation de celui-ci en boue par suite de la peptisation des colloïdes; cette action des pluies sera d'ailleurs d'autant plus prononcée que, le plus souvent, il y a accumulation d'eau dans les couches superficielles du sol, l'infiltration ne pouvant s'effectuer au travers des couches encore gelées en profondeur.

On constate souvent, après un hiver froid, un accroissement des rendements.

Nous avons vu que l'action de la gelée équivalait en premier lieu à un bon labour et, dans les terres difficiles à travailler avec les instruments aratoires, on conçoit que la gelée soit susceptible, par ses effets internes d'éclatement, de provoquer une amélioration plus complète des conditions physiques du sol. De même, ne peut-on penser qu'à un hiver froid, puisse correspondre, dans certains cas, un ensemble de conditions climatiques favorable au développement de la plante considérée (corrélation entre les caractères météorologiques des saisons). Il ne faut pas oublier en outre l'action souvent positive du froid sur le développement des plantes, question dont nous n'avions pas à nous préoccuper ici.

L'augmentation de rendement constatée après le froid ne correspond-elle pas enfin à un accroissement de la fertilité du sol? Jusqu'à présent les différents auteurs s'étant occupés de la question n'ont pu mettre nettement en évidence une action du froid sur la solubilisation des éléments fertilisants : il semble que l'amélioration des propriétés physiques du sol entraîne simplement un plus grand développement des racines et par suite une plus forte assimilation de K^2O et de P^2O^5 [O. Engels (23), A. Notitz (24), B. Batz (25), F. Gunther (26)]; toutefois, dans le cas d'un sol argileux lourd, Engels trouve une légère augmentation de la potasse assimilable; de même B. Batz observe une action positive de la gelée sur la solubilisation de K^2O sur des sols d'érosion riches en silicates potassiques.

Quant à l'activité microbienne, elle ne peut être que très faible au cours de l'hiver. L'action mécanique de la gelée amène-t-elle au printemps un réensemencement des colonies microbiennes, d'où une stimulation ultérieure de leur activité. Faut-il envisager simplement une action des basses températures (températures critiques) sur la répartition et le nombre des bactéries et microorganismes du sol? Nous ne nous sommes pas occupé de cette question. De même, il est possible que les gelées d'hiver puissent exercer une heureuse influence sur la destruction des insectes et des larves et contribuer ainsi à l'hygiène du sol.

On peut se demander enfin quel est le résultat de l'action mécanique du froid (foisonnement du sol) sur les racines des plantes. Kokkonen a observé que le soulèvement de tiges témoins, fichées verticalement en terre est souvent de deux à cinq fois plus grand que le soulèvement du sol lui-même à condition bien entendu que les tiges ne soient pas enfoncées trop profondément, par rapport à la couche de sol gelée. L'auteur constate que la gelée peut soulever d'une façon identique les racines des plantes, soit en partie, soit complètement hors du sol. C'est sans doute dans ces observations qu'il faut chercher une explication du mécanisme du déchaussement des plantes. Quant à la question de savoir si les racines sont brisées ou non, la réponse est difficile; pour Kokkonen, l'élasticité propre des racines est suffisante pour que celles-ci

puissent résister le plus souvent aux tiraillements provoqués par les mouvements du sol.

En résumé, en l'état actuel de nos connaissances, il semble bien que l'action du froid se ramène essentiellement à une action mécanique d'émiettement et d'ameublissement du sol. L'effet ultérieur de cette action, pour un sol donné, sur le développement des plantes dépendra surtout des conditions extérieures. Le sol est, en effet, comme l'a dit Demolon, un milieu vivant, sa dynamique est essentiellement variable avec les conditions de milieu : c'est cette variation qu'il nous importe de connaître et de suivre dans le temps; cette étude ne peut se faire que sur les sols en place et, de ce point de vue, les travaux de Kokkonen nous semblent particulièrement suggestifs.

H. GESLIN. — La température du sol. — Action particulière du froid. — Ses conséquences du point de vue agronomique.

1. *La température du sol.* — L'étude des lois de la propagation de la chaleur dans le sol, celle des variations comparées de l'énergie radiante et de la température du sol, montre que celui-ci vérifie la «loi de modération» propre à tous les systèmes comportant des équilibres. Les variations de la température sont liées en outre, soit à la nature différente des sols, soit au travail du sol par les instruments de culture.

2. *Le froid et le sol.* — Le gradient de pénétration du gel dans le sol est très variable, dépendant notamment de l'intensité du refroidissement, de la nature et de l'état du terrain considéré. Toute couverture végétale, de même que la présence de la neige, ralentissent considérablement la vitesse d'approfondissement de la gelée.

Le sol peut subir, du fait des gelées, des actions soit d'agrégation, soit de dispersion, mais il semble bien que le gel n'a que peu ou pas d'action sur la texture, non plus que sur la microstructure du sol. La structure des sols agricoles est essentiellement provisoire et instable, due à la formation de faux agrégats, c'est-à-dire de ceux qui peuvent se former sous l'action des forces de compression mises en jeu par les façons aratoires par exemple. L'action du froid apparaît comme étant du même ordre, le foisonnement qui en résulte étant comparable à celui provoqué par un labour.

3. *Action des gelées sur le sol du point de vue agronomique. — Conclusions.* — Du point de vue agronomique, le froid apparaît comme un excellent agent d'ameublissement des sols. L'augmentation de rendement, souvent constatée, résulte de l'amélioration des propriétés physiques du sol par suite d'un bon émiettement mécanique, plutôt que d'une solubilisation des éléments fertilisants qui n'a pu être mise en évidence que dans des cas très particuliers.

H. GESLIN. — Bodentemperatur. Besondere Wirkung des Frostes, seine Folgen vom landwirtschaftlichen Standpunkte aus gesehen.

1. *Bodentemperatur.* — Das Studium der Gesetze der Wärmeausbreitung im Boden, sowie das vergleichende Studium der Veränderungen der strahlenden Energie und der Bodentemperatur zeigen, dass sich im Boden das «Mässigungsgesetz» bestätigt, welches bei Systemen, die miteinander im Gleichgewicht sein können, gilt. Die Temperatur-

veränderungen sind auch von der verschiedenen Natur der Böden und von der Bodenbearbeitung durch Ackergeräte abhängig.

2. *Frost und Boden.* — Das Mass der Frosteindringung im Boden ist sehr veränderlich Es ist abhängig von der Intensität der Kälte, von der Natur und dem Zustand der betrachteten Bodenfläche. Die Pflanzendecke sowie Schnee verlangsamen das Eindringen der Kälte beträchtlich.

Der Frost kann auf den Boden sowohl zusammenballend als auch auflockernd wirken; auf die Textur und Mikrostruktur des Bodens hat er aber wahrscheinlich keinen Einfluss. Die Strucktur des Bodens ist sehr unbeständig, da sie stark abhängig ist, von den Druckkräften, die bei der Bodenbearbeitung erzeugt werden. Die Auflockerung de Bodens durch Frost ist mit der durch Bodenbearbeitung erzeugten Auflockerung vergleichvar.

3. *Landwirtschaftliche Schlussfolgerungen.* — Vom landwirtschaftlichen Standpunkte aus ist die Kälte die wesentliche Kraft, die eine Lockerung der Böden bewirkt. Die oft festgestellte Steigerung der Ernte beruht vor allem auf der Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Bodens, während eine Erhöhung der Löslichkeit der Nährstoffe nur in besonderen Fällen festgestellt werden konnte.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

A. — Ouvrages consultés.

A. Angot. — *Traité élémentaire de météorologie,* Gauthier-Villars, Paris, 1928.

E. Blank. — *Handbuch der Bodenlehre,* Julius Springer, Berlin, 1930.

A. Demolon. — *La dynamique du sol,* Dunod, Paris 1932.

R. Geiger. — *Das Klima der bodennahmen luftsicht,* Friedr. Vieweg, Braunschweig, 1927.

R. Geiger. — *Mikroklima und Pflanzenklima,* Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1930.

F. Houdaille. — *Le soleil et l'agriculteur,* Masson, Paris, 1893.

B. A. Keen. — *The physical properties of the soil,* Longmans, Green and C°, Londres, 1931.

A. Mitscherlich. — *Bodenkunde,* Paul Parey, Berlin, 1923.

G. W. Robinson. — *Soils. Their origin, constitution and classification,* Thomas Murby, Londres, 1932.

F. Schucht. — *Grundzüge der Bodenkunde,* Paul Parey, Berlin, 1930.

B. — Mémoires.

(1) C. E. Brazier. — Classification des températures mensuelles, saisonnières et annuelles observées au Parc-Saint-Maur de 1874 à 1923. *Congrès des Sociétés Savantes, Paris, 1928.*

——— Trois années d'enregistrement de la radiation globale. *Congrès des Sociétés Savantes, Paris, 1931.*

(2) A. Angstrom. — The Albedo of various surfaces of ground. *Geog. Ann.,* 1925.

(3) Th. Homen. — Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel, und Erde, Leipzig, 1897.

(4) W. Schmidt. — Meteorologische Feldversuche über Frostabwehrmittel, *Der Zentr. für Meteor. u. Geod.,* 1927, Publikation n° 135.

(5) H. Geslin. — Les gelées de l'hiver 1928-1929 au Centre de Recherches agronomiques de Versailles. Leur action sur les cultures. *Ann. Sc. Agr.*, 1929, p. 475.

(6). V. Novak. — Action de la gelée sur le sol eu égard à la profondeur de sa pénétration dans les sols de Moravie au cours de l'hiver 1928-1929. Publ. n° 66 de la *Stat. de Recherches de Brnô*, 1930. (Résumé en allemand.)

(7) K. Opitz. — Welche Temperatur Erhöhung bewirkt eine Schneedecke für die Erdoberfläche. *Forts. d. Landw.*, 1929, t. 4.

(8) Simola. — Recherches sur la gelée du sol et l'eau souterraine en 1926-1929. *Valtion Maatalouskoetoiminnan Julkaisuja*, t. 30, 1930; *Bied Zentr.*, 1933, t. 62.

(9) P. Ehrenberg. — Der Frost und die Beeinflussung des Erdbodens durch denselben. *Landw. Vers. Station*, 1928, t. 107, p. 257.

(10) H. Gorka. — Neue Experimentaluntersuchungen über die Frostwirkung auf Erdboden. *Kolloïdchemische Beihefte*, 1927, 25, 171.

(11) E. Jung. — Untersuchungen über die Einwirkungen des Frostes auf den Erdboden. *Zeits. f. Pflanz.* A. 1931, 19, p. 326.

—— Weiterer Beitrag zur aggregierenden Einwirkung des Frostes auf den Erdboden. *Zeits. f. Pflanz.* A, 1932, 24, p. 1.

(12) A. Demolon et S. Henin. — Recherches sur la structure des limons et la synthèse des agrégats. *Suppléments aux C. R. Ass. Sc. du Sol.* Vol. III, n° 1, 1932.

(13) G. Viegner. — Method of preparation of soil suspensions and degree of dispersion as measured by the Wiegner-Gessner apparatus. *Soil Science*, 1927, vol. 23, p. 377.

(14) Given. — Dissertation Göttingen, 1915, 19.

(15) J. Bourdelle et M. Ringelmann. — Mesures des densités apparentes des terres (poids d'un décimètre cube de terre en place). *Ann. Agr.*, 1931, p. 495.

(16) A. Mitscherlich. — Ein Beitrag zur Erforschung der Einwirkung des Frostes auf die physikalischen Bodeneigenschaften. *Fühling. landw. Zeitung*, 1902, 51, p. 497 et 532.

(17) W. Czermak. — Ein Beitrag zur Erkenntnis der Veränderung der sog. physikalischen Bodeneigenschaften durch Frost, Hitze und die Beigabe einiger Salze. *Landw. Vers. Stat.*, 1912, t. 76, p. 75.

(18) L. Smolik. — Influence de la chaleur sur la surface totale offerte par les éléments du sol. *C. R. Ac. des Sc.*, 1924, t. 178, p. 2266.

(19) B. Batz. — Die Einwirkung des Frostes auf die Löslichmachung der Phosphorsäure und des Kaliums, untersucht nach der Keimpflanzenmethode von Neubauer. *Zeit. f. Pflanzen.* A 1927, 9, p. 246-363.

(20) F. Giesecke. — Über den Einfluss äusserer Faktoren auf die Bodenstruktur. *Zeits. für Pflanzen.*, 1927, t. 8, p. 247.

(21) P. Kokkonen. — Beobachtungen über die durch den Bodenfrost verursachte Hebung der Erdoberfläche und in der Frostschicht befindlicher Gegenstände. *Maataloustieteellinen Aikakauskirja*, 1930, n° 3.

(22) P. Kokkonen. — Die Verteilung des Wassers im Boden infolge den Einwirkung des Bodenrostes. *C. R. 6e Com. Ass. Interle Sc. du Sol*, 1933, p. 13-17, vol. B.

(23) O. Engels. — Übt der Frost eine lösende Wirkung auf die Pflanzennährstoffe Phosphorsäure und Kali im Boden aus? *Forts. der Landw.* 1928, 21, p. 961-963.

(24) A. Notitz. — Untersuchungen über die Frostwirkung auf landwirschaftliche Kulturböden. *Zeits. f. Pflanz.* A 1930, 15, p. 273.

(25) B. Batz. — Die Einwirkung des Frostes auf die Löslichmachung der Phosphorsäure und des Kaliums, untersucht nach der Keimpflanzenmethode von Neubauer. *Zeit. f. Pflanzen.* A 1927, 9, p. 346-363.

(26) F. Gunther. — Untersuchungen über die Einwirkung des Frostes auf verschiedene Ackerböden und den dadurch bedingten Einfluss auf das Wachstum von Hafer und Gerste. *Landw. Jahr.* 73, n° 6, p. 983-923, 1931.

LE CHAUFFAGE DU SOL,

PAR

JEAN BORDAS,

DIRECTEUR DE LA STATION DE RECHERCHES AGRONOMIQUES D'AVIGNON.

INTRODUCTION.

La chaleur est, avec la lumière, le facteur de croissance des végétaux supérieurs qui fournit l'énergie nécessaire à la photosynthèse, c'est-à-dire aux phénomènes d'assimilation chlorophylienne. Si on veut obtenir des plantes à contre saison (primeurs), on doit avoir recours au «forçage» qui utilise différentes sources de chaleur *pour chauffer le sol.* Cette méthode ne se justifie que par les hauts prix réalisés dans la vente des légumes et fruits ainsi obtenus.

Les différentes sources de chaleur utilisées sont les suivantes :

I. *Le soleil* (serres et châssis);

II. *La fermentation* (couches naturelles et artificielles);

III. *Le charbon* [thermo-siphon (eau chaude) ou vapeur d'eau];

IV. *L'électricité* (chauffage direct ou indirect).

En général, on doit combiner les trois derniers procédés au premier, c'est-à-dire l'emploi des châssis et serres. Toutefois, dans le Midi de la France et en Italie où les hivers sont fortement ensoleillés, on peut obtenir des primeurs en utilisant des châssis ou des serres dites «froides» sans avoir recours à une source de chaleur autre que le soleil.

LES CHÂSSIS ET LES SERRES.

(Utilisation de la chaleur solaire.)

Dans les serres et les châssis vitrés, les conditions de forçage, tout au moins en France, sont souvent défectueuses. On a adopté les dispositifs les plus simples et les moins coûteux, nullement rationnels et sans tenir compte

de ce que l'étude scientifique de ce problème, appliquée à la culture des primeurs et à l'horticulture, aurait pu apporter d'utile à la pratique.

La plus grande fantaisie règne en effet dans l'établissement des serres méridionales; les unes sont petites, de section triangulaire et formées de deux châssis ajustés par le haut, d'autres couvrent d'assez grandes surfaces et ont leurs châssis placés, presque horizontalement, sauf celui de devant.

Parfois les serres sont toutes vitrées, d'autres (ce qui est préférable dans la vallée du Rhône) ont leur paroi «Nord» établie à l'aide de panneaux de bois ou en fibro-ciment. Enfin, on trouve quelques modèles plus rationnels de grandes serres à châssis amovibles et à charpentes métalliques dont un exemplaire est installé, depuis peu, au champ d'expériences de la Station agronomique d'Avignon.

A Albenga (20), sur la côte d'Azur italienne, le type de serre le plus répandu est de 500 m² (10 × 50 m.). L'armature interne est constituée par cinq rangées de piquets en bois dont la hauteur varie de 1 m. 50 au bord pour atteindre 3 m. au centre de la serre. Ces piquets supportent une armature de bois ou de fer où reposent les cadres vitrés.

La région d'Albenga, centre de primeurs important, possède environ 1.500 serres, d'une superficie moyenne de 500 m², ce qui représente un capital de près de 40 millions de francs.

Mais il semble que dans la construction de ces serres on se préoccupe peu des lois qui régissent la transformation de la lumière et de la chaleur et l'on devrait tenir compte un peu plus de la durée d'insolation de l'intensité lumineuse, des phénomènes de conductibilité (sol), de rayonnement et de convection.

Savoir, suivant les cultures, doser cette trinité : lumière, chaleur et insolation, c'est là toute la science pour obtenir des primeurs de premier choix à l'aide des serres et châssis.

La quantité de chaleur et de lumière que le soleil apporte sur une unité de surface du sol dépend de l'état hygrométrique de l'air, de la durée d'insolation et de son intensité; celle-ci varie avec l'inclinaison des rayons. La loi de Lambert nous apprend que cette intensité est proportionnelle au sinus de l'angle d'inclinaison. Elle est donc maximum à 90° et minimum pour les rayons à incidence rasante.

L'inclinaison des châssis vitrés dans une serre a donc une importance primordiale. M. Raymond, de la Station de physique d'Antibes, a montré, à la suite de nombreuses mesures faites avec le lucimètre de Bellani, dans une grande serre dont la plupart des châssis n'avait qu'une inclinaison de 10 à 15° sur l'horizon, que 30 à 45 p. 100 seulement des rayons solaires pénétraient dans cette serre suivant l'époque (23).

En tenant compte de ces considérations et en prenant comme exemple pour

la région d'Avignon la période la plus favorable, le mois de février, où les rayons du soleil, ont une inclinaison d'environ 36° on voit, en calculant d'après la loi des sinus, que, pendant la période active d'insolation (10 heures à 14 heures) le soleil déverse 4.000 grandes calories par m².

L'état hygrométrique de l'atmosphère joue également un rôle important. Plus faible est le degré d'humidité contenue dans l'air, plus élevé est le rayonnement. C'est ainsi que, dans la basse vallée du Rhône, on constate que ce sont les journées ensoleillées où le mistral (vent froid et *sec* du N.-N. souffle, où l'énergie lumineuse et calorifique est la plus grande. (Observations au lucimètre de Bellani depuis 1924, au poste météorologique de la Station agronomique d'Avignon.)

Sous l'action des rayons absorbés par le sol, la température de la surface s'élève, une partie de la chaleur absorbée progresse dans la terre par conductibilité, une autre est dissipée par rayonnement et convection.

Les meilleures conditions sont remplies quand les rayons calorifiques arrivent sur un sol de couleur foncée à surface meuble et sèche, la terre devenant progressivement plus humide en allant en profondeur.

La quantité de chaleur absorbée dans les couches superficielles est ainsi très élevée et celle-ci est retenue plus énergiquement en profondeur grâce à la grande capacité calorifique de l'eau. C'est pourquoi l'application de l'irrigation souterraine continue (système d'Avignon) [4-21] donne d'excellents résultats dans la production des primeurs sous serre en utilisant le soleil comme source de chaleur. (Expériences de 1933 sur haricot vert dans la grande serre du champ d'expériences de la Station agronomique d'Avignon).

II

LES COUCHES NATURELLES ET ARTIFICIELLES.

(*Source de chaleur : la fermentation des matières organiques.*)

La fermentation des débris végétaux par voie bio-chimique peut donner des réserves importantes d'humus et jouer également *le rôle de source de chaleur* pour le forçage de certaines primeurs.

Parmi ces débris végétaux, le fumier de ferme vient en tête; or il devient de plus en plus rare du fait des conditions économiques actuelles et de l'emploi toujours plus répandu de la traction mécanique. C'est pourquoi l'emploi des couches «artificielles», à base de déchets de cellulose, commence actuellement à se répandre.

a. Couches naturelles.

La couche est un amas de fumier et de feuilles mortes, surtout de chêne et de châtaignier, dont on utilise la chaleur de fermentation qu'il développe.

Le fumier de cheval est le plus fréquemment employé. C'est lui qui donne le plus de chaleur. Les fumiers froids de vache et de porc ne peuvent servir.

On utilise le fumier de cheval à l'état frais et à l'état recuit, c'est-à-dire après qu'il a subi une première fermentation en tas; en aérant ce fumier et en l'arrosant on peut l'amener à reprendre sa fermentation; il développe moins de chaleur que le fumier frais mais sa fermentation dure davantage. Les feuilles mortes jouent à peu près le même rôle que le fumier recuit et peuvent le remplacer.

C'est en utilisant et en combinant ces deux méthodes que l'on obtient le dégagement de chaleur voulu. On distingue ainsi (8) les couches chaudes (fumier frais), température 20 à 25° pendant un mois et demi environ, les couches tièdes (fumier frais et recuit) température 15 à 20° pendant deux mois, les couches sourdes (fumier recuit) 10 à 15° pendant plus de un mois. Dès que la couche est montée, on y place le coffre qui porte les châssis.

Pour maintenir ou augmenter la chaleur dégagée par les couches, pour ranimer la fermentation lorsqu'elle tend à s'arrêter, on emploie les « réchauds », ce sont de petits talus de 0 m. 50 à 0 m. 60 de largeur que l'on installe tout autour du coffre; on les compose de fumier frais. En les travaillant et en renouvelant une partie de ce fumier, les réchauds fournissent un supplément de chaleur appréciable.

b. **Couches artificielles.**

Les matières organiques des débris végétaux subissent des modifications biochimiques diverses; la connaissance des réactions qui interviennent offre, à côté de son intérêt scientifique, une utilité pratique incontestable, puisque, par divers procédés, on peut exercer une influence capitale sur le cours de ces réactions, *régler les températures de fermentations* et obtenir des produits ultimes, riches en éléments fertilisants pour les plantes (3).

C'est donc en étudiant la marche des fermentations de divers débris végétaux que l'on pourra retenir une série de matières premières (fourrage avarié, copeaux et frisure de bois, déchets de coton) et obtenir ainsi des couches artificielles, chaudes, tièdes et sourdes.

Nous nous sommes servi, pour étudier comparativement ces différents matériaux, du silo de fermentation que nous avons utilisé pour la fabrication du fumier artificiel à base de paille et de résidus urbains. Ce silo en maçonnerie à double paroi isolante (2) a une capacité de 10 m³. Il est muni, à sa partie supérieure, d'une tourelle avec plateaux en chicane renfermant du superphosphate pour retenir les gaz ammoniacaux. Le plancher a une inclinaison vers une petite fosse à purin. L'aération se fait par une cheminée centrale (tube percé de trous) et, latéralement, par une double paroi (briques non jointes) où circule l'air.

Les trois points essentiels de notre technique que l'on peut régler, suivant que l'on veut retarder ou non la marche de la fermentation (diminution de dégagement de chaleur), sont les suivants :

1° Utilisation des phénomènes d'oxydation de la matière organique (*Erémacausis*) en évitant, autant que possible, les phénomènes anaérobies de la putréfaction;

2° Emploi des ferments de l'urée comme «pied de cuve» (urée et fumier frais);

3° Maintien d'une humidité convenable, variable suivant la matière première utilisée.

Résultats obtenus (1931 et début 1932). — Les essais ont été faits de la manière suivante :

On incorpore aux débris végétaux de l'urée à la dose de 5 kg. environ pour 1.000 kg. de matière première et on ajoute un peu de fumier frais, bien imbibé de purin; on forme ainsi trois lits successifs que l'on tasse légèrement.

La quantité d'eau ajoutée a été, pour la paille, deux fois et demie son poids; pour le fourrage avarié déjà humide, environ une fois et demie et enfin pour les copeaux de bois, frisure de bois et déchets de coton, environ trois fois.

Paille. — La décomposition s'opère rapidement dans le silo, la température atteint 70 à 75° dès les premiers jours et se maintient entre 65 et 70°. Au bout de trente à trente-cinq jours elle descend lentement vers 55°.

Si donc, au point de vue *fumier artificiel*, la paille présente un grand intérêt, on ne pourra l'utiliser *seule* pour la confection des couches artificielles, car malgré le coup de feu du début passé, la température se maintient trop élevée.

Copeaux de bois. — Les copeaux de bois, en petits morceaux, fermentent d'une façon analogue à la paille : même marche de température et même durée de l'opération, on obtient un fumier plus homogène que celui provenant de la paille. La conclusion est la même au point de vue «couches artificielles».

Frisures de bois. — L'opération du mouillage est plus délicate ; le tassement s'opère mal. La température de fermentation atteint à peine 50° et se maintient autour de 38°, en silo, pendant un mois environ. L'humification s'opère lentement. Ce produit présente un avantage, au point de vue de la confection de couches artificielles, car incorporé à la paille ou aux copeaux de bois, il diminuerait le «coup de feu» et allongerait la durée de la fermentation. On obtiendrait *ainsi une couche tiède artificielle.*

Foin et fourrage avariés. — Nous entendons par ce produit la troisième coupe de fourrage, souvent perdue, en Provence, parce que l'on n'a pas pu la rentrer avant les pluies d'automne.

Ce foin, s'il n'a pas déjà subi, en tas, un début de fermentation, se comporte comme une excellente matière première pour la confection de couche artificielle (couche chaude) [22]. Après le coup de feu (vers 60°), la température se maintient en silo, durant un mois et demi, autour de 50°.

Déchets de coton (cascami di cotone) ou cascame. — Ces déchets de coton, dont nous allons voir l'utilisation dans la culture forcée de l'asperge, en Italie et en France, proviennent soit de l'effilochage des chiffons destinés à la fabrication de papier fin (le cascame utilisé pour nos essais), soit des rebuts de cardage du coton des filatures (cascame d'Albenga, Italie). Le produit apparaît sous forme d'une bourre cotonneuse à fibres très courtes, riche en poussière qui lui donne une couleur grisâtre.

Le cascame utilisé dans nos essais nous a été fourni gracieusement par les papeteries Navarre. Ce produit était moins homogène et plus grossier que le cascame italien.

Étudié en silo, dans les mêmes conditions que les autres produits que nous venons de passer en revue, le «cascame» se comporte de la façon suivante (Expériences du 2 février au 5 avril 1932) :

La température atteint en trois ou quatre jours 48-50°, puis se maintient aux alentours de ces chiffres avec une régularité parfaite et sans «coup de feu» durant deux mois; le 3 avril la température descendit à 45°, le 4 à 40°, le 5 à 35°.

Nous avons donc là un produit type pour la fabrication des *couches tièdes artificielles.*

En recoupant le tas de cascame, après ces deux mois de fermentation, on obtient encore un dégagement de chaleur assez sensible (25 à 30°) permettant de l'utiliser comme *couche sourde.*

APPLICATIONS :

A. Le forçage des asperges au moyen des déchets de coton.

a. *A Albenga (Italie)* [20].

Le principe de cette méthode consiste à mettre sur le sol une couche de déchets de coton (cascami di cotone) de 30 cm environ d'épaisseur, que l'on arrose convenablement et que l'on aère pour lui permettre de fermenter.

Ce produit extrêmement divisé offre une grande surface d'attaque aux bactéries; c'est ce qui explique la facilité avec laquelle elle entre en fermen-

tation dès que son taux d'humidité le lui permet. Son prix est de 25 lires le quintal, soit 30-35 francs.

Quand l'aspergeraie a trois ou quatre années, le maraîcher construit la serre et commence à forcer. Vers la fin novembre, on incorpore à la terre une forte quantité d'engrais organiques et chimiques.

Quand on veut provoquer la poussée des turions, dans les mois de décembre, janvier, février, on place sur le sol une couche de déchets de coton de 30 cm. Au début, on l'arrose trois fois, à un ou deux jours d'intervalle, pour que la masse soit bien humectée; celle-ci entre rapidement en fermentation et on constate, dans une couche arrosée depuis trois jours seulement, une température de 35 à 40 degrés.

Après une quinzaine de jours, les turions sortent de la couche de déchets et la récolte commence. Elle peut durer de décembre à fin mars. A première vue, ce procédé paraît très simple à réaliser. En réalité, il nécessite une très grande habitude de la part du maraîcher et une surveillance constante. De nombreux accidents surviennent dans certains cas par excès de température ou, au contraire, défaut de chaleur.

En pratique, les choses se passent ainsi :

Le maraîcher introduit la main dans la masse en fermentation et juge empiriquement de la température; si celle-ci est trop basse, la masse est épaissie et arrosée plus fréquemment; si, au contraire, la température est trop élevée, la masse est retournée systématiquement jusqu'à ce que la fermentation soit plus modérée.

C'est dans l'appréciation de la température et l'intervention opportune que réside tout le secret de ce procédé de chauffage.

La cueillette des asperges est facile, car les turions sont aisément dégagés avec la main; de plus, elle est agréable car les personnes qui l'effectuent marchent nu-pieds sur une couche tiède et cotonneuse.

La durée du forçage est en moyenne de cinq années, puis l'horticulteur démonte la serre et va la reconstruire sur une autre aspergeraie.

b. *A Avignon (Vaucluse).*

Les expériences faites à Avignon avec le cascame en vue d'obtenir l'asperge de primeur eurent pour but de comparer entre elles les trois méthodes suivantes :

1° Culture sous serre, les bancs d'asperges recouverts simplement de terre;

2° Culture sous serre avec utilisation du «cascame» (couches tièdes artificielles);

3° Culture sous serre avec le thermosiphon (couramment employé dans la vallée de la Durance, à Lauris). Ces essais ont été effectués chez M. Levêque,

ingénieur des Arts et Manufactures, dans sa propriété de «Cantarel» près d'Avignon.

La serre mobile était construite à l'aide de deux séries de châssis : du côté Midi, des châssis vitrés de 2 mètres de longueur, du côté Nord des châssis spéciaux portant des plaques d'évérite de 2 m. 50 de longueur. L'angle au sommet était sensiblement droit. Étant donné ce dispositif, la partie vitrée avait une inclinaison suffisante pour recevoir dans la serre les rayons du soleil.

Cette serre démontable avait 3 m. 20 de large et 10 mètres de longueur. Elle a été placée à cheval sur trois bancs d'asperges distants entre eux de 1 m. 20 (fig. 1 et 2).

Essais avec le «cascame».

230 kg. de «cascame» ont été répandus sur 2 m. 50 de longueur au milieu de la serre sur deux bancs, *non chaussés* et dans l'intervalle de ces deux bancs. *La couche était de 30 cm. d'épaisseur, ce qui correspond à 46 kg.*

Résultats obtenus. — Les asperges récoltées dans le cascame ont été très belles, trois fois plus abondantes que dans la partie du banc chaussée à la terre; elles furent cueillies avec douze jours de précocité (voir tableaux).

TABLEAU I.

DATES.	TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES.		TEMPÉRATURES SOUS LE «CASCAME».		OBSERVATIONS.	
	MINIMA.	MAXIMA.	MATIN.	SOIR.		
3 février	2°	8° 5	10° 5	11°	Mistral.	Pas de gelée dans la serre.
4 —	5°	14° 5	11°	11°	*Idem.*	
5 —	3° 5	9° 5	11° 5	14°	Arrosé Cascame 250 l.	
6 —	− 4° 5	10°	14°	15°		
7 —	− 4°	16°	15°	18°	Mistral.	
8 —	5°	14°	18°	20°		
9 —	2°	10°	20°	20°		
10 —	2° 5	6° 5	20°	19°	Mistral.	
11 —	− 7°	+ 1°	19°	17°	*Idem.*	
12 —	8°	+ 1°	17°	16°	Très fort mistral.	
13 —	− 7° 5	5°	16°	16°		
14 —	− 9°	7°	16°	16°	Mistral.	
15 —	− 4°	3° 5	15°	15°	*Idem.*	
16 —	[illegible]	8°	15°	15° 5	Très fort mistral.	
17 —	− 2° 5	9°	15° 5	16°		
18 —	− 5° 5	12°	16°	15° 5	Mistral.	

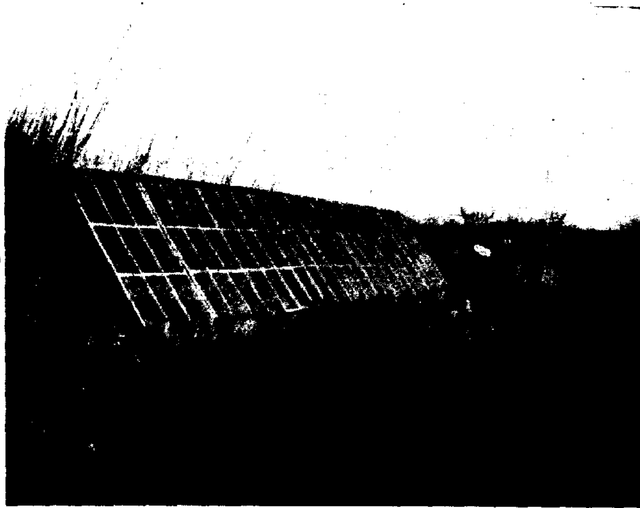


Fig. 1.



Fig. 2.

Forçage des asperges par la méthode au [illegible].
Expériences d'Avignon. — Serre de M. Levêque.

TABLEAU II.

DATES.	TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES.		TEMPÉRATURES SOUS LE CASCAME.		BANC N° 2. — ASPERGES SORTIES. Cumulées.		BANC N° 3. — ASPERGES SORTIES. Cumulées.		OBSERVATIONS.
	MINIMA.	MAXIMA.	MINIMA.	MAXIMA.	Cascame.	Terre.	Cascame.	Terre.	
18 février	5° 5	12°	15° 0	16°	8	-	–	–	Mistral.
19 —	0°	14°	12°	15°	9	–	–	–	*Idem.*
20 —	– 4° 5	8°	11°	15°	–	1	–	–	*Idem.*
21 —	– 0° 5	10°	11°	15°	10	–	–	–	
22 —	– 4° 5	7° 5	11°	15° 5	11	–	–	–	Arrosé cascame b. 2.
23 —	0°	8° 5	11°	16°	12	2	–	1	
24 —	– 5°	12° 5	11°	16°	14	–	1	–	
25 —	– 2° 6	10°	11°	16° 5	15	–	–	–	
26 —	+ 0° 5	12° 5	12°	17°	22	3	–	–	
27 —	0°	8° 5	12°	15°	9	–	–	–	Aj. 5 cm. cascame b. 2.
28 —	– 2°	11° 5	11° 5	15° 5	23	–	–	–	
29	– 1° 5	14°	12°	15°	24	4	7	–	Pluie.
1er mars.....	2°	9° 5	13°	14°	26	5	–	–	*Idem.*
2	2°	13°	13°	15°	34	6	–	–	
3	5°	16° 5	13°	15°	36	–	11	2	
4	2° 5	21° 5	13°	18° 5	42	7	12	–	Mistral.
5	5°	20° 0	14° 5	17°	43	8	–	3	*Idem.*
6	4°	11°	14° 5	18°	46	9	–	–	*Idem.*
7	1° 5	13°	14°	17°	48	10	20		*Idem.*
8	1° 5	16°	14°	17°	55	11		7	Pluie.
9	1° 5	17° 5	14° 5	16° 5	58	14	25		Mistral.
10	7° 5	17° 5	15°	16°	62	15			Nuageux.
11	2°	9°	14° 5	15°	63	16	28	–	Mistral.
12	3°	10° 5	13° 5	16° 5	66	20	44	9	Vent du midi.
13 —	1° 5	17°	13°	18° 5	69	–	47	–	*Idem.*
14 —	4°	21° 5	13° 5	20° 5	78	25	49	12	Couvert pluie.
15 —	– 1° 5	24° 5	15°	16° 5	81	28	52	13	Mistral très violent.
16 —	4°	13°	16°	16° 5	84	32	–	–	Mistral arrosé bancs n°s 2–3.
17 —	9° 5	15°	16°	17° 5	89	33	53	15	
18 —	8°	12° 5	15°	18°	90	–	58	–	Mistral.
19 —	3°	10° 5	14°	–	95	36	60	–	Mistral très fort.
20 —	3°	10° 5	13° 5	–	–	38	65	17	*Idem.*
21 —	5°	12° 5	–	–	–	–	74	21	Mistral.
22 —	6° 5	12° 5	–	–	–	41	77	21	
23 —	6° 5	12° 5	–	–	101	44	–	–	Couvert.
24 —	1° 5	13°	–	–	106	45	–	–	
25 —	2° 5	18°	–	–	106	–	–	–	Pluie.
26 —	7° 5	–	–	–	–	–	–	–	

Si l'on compare avec la culture au thermosiphon on obtient les résultats suivants :

Avec le thermosiphon après *soixante-seize jours,* on a récolté 950 gr. d'asperges poids net bottelé au m. de banc;

Avec le cascame, après *vingt-quatre jours seulement.* on a obtenu le même poids au m. courant. Donc précocité très marquée.

Compte tenu de tous les frais, le prix de revient par le procédé «au cascame» serait légèrement inférieur à celui du thermosiphon (16 fr. 25 pour 1 kg. d'asperge net en 1932), mais il y a lieu de faire remarquer que la méthode au «cascame», toutes choses égales d'ailleurs, donnerait les avantages suivants :

1° Pas de mise de fonds d'installation (une installation au thermosiphon revient à *58.000 francs* pour 1.000 m. de banc d'asperges et le chauffage exige 25 kg. d'anthracite par kg. d'asperges);

2° Rapprochement et même suppression des bancs d'asperges (pas de buttage et pas de place pour le passage des tuyaux);

3° Utilisation du cascame fermenté comme amendement.

B. – Utilisation du fumier artificiel au point de vue thermique en horticulture (19).

(Expériences effectuées au centre de recherches agronomiques de Versailles.)

1932.

MM. Marcel, Geslin et Henin (station centrale de physique et climatologie agricoles de Versailles) ont établi, en 1932, quatre couches d'essais en utilisant comme agent thermogène les mélanges suivants (voir fig. n° 3) :

1° Fumier seul;

2° Fumier artificiel deux tiers, feuilles mortes un tiers;

3° Fumier artificiel moitié, feuilles mortes moitié;

4° Fumier artificiel moitié, paille saturée d'eau additionnée de 2,5 p. 100 de paille sèche.

Le fumier artificiel a été préparé en suivant la technique de MM. Demolon et Burgevin (9). La plante cultivée le melon, variété Cantaloup, *délice de la table,* fut choisie pour sa sensibilité aux écarts de température et aux dégagements gazeux.

L'étude des variations de température de chacune des couches, comparée aux variations de température extérieure, a permis de préciser l'influence des différents mélanges. Les différences observées restèrent positives du 10 mai, début de l'expérience, au 22 juin, la couche n° 4 ayant fourni les plus grands écarts (maximum 16°).

La température maximum sous les couches fut de 40°9 (n° 4) et sous abri de 28°7. Les auteurs concluent en montrant l'intérêt que peut présenter, au point de vue thermique pour l'horticulture, notamment dans la confection des couches, la fermentation de la paille additionnée de solution nutritive.

1933.

Les expériences commencées en 1932 ont été poursuivies en 1933 par MM. Marcel, Geslin et Servy pour préciser la valeur, du point de vue thermique, des couches faites uniquement à partir du fumier artificiel. Trois couches d'essais ont été établies au 30 avril 1933 :

Couche n° 1. — Couche en plancher. Paille de blé + solution + un peu de fumier de cheval.

Couche n° 2. — Couche en tranchée. Paille de blé (de meule) + solution.

Couche n° 3. — Couche en tranchée. Paille de blé + fumier artificiel fait.

On disposait en outre d'une couche n° 4 (en tranchée) constituée de fumier de cheval et de feuilles, ainsi que d'un coffre témoin présentant les mêmes caractéristiques que les coffres utilisés pour les couches, permettant d'éliminer notamment l'influence de la radiation solaire sur les châssis.

Des essais effectués, il résulte qu'il est possible d'établir à partir de la paille et de solutions nutritives appropriées, des mélanges thermiques permettant, tout en évitant le « coup de feu » des couches faites à partir du fumier de cheval, de maintenir une température de 18 à 24° pendant une période de deux à trois mois, conditions qui répondent pleinement aux besoins de l'horticulture. Ainsi, au moment du coup de feu maximum, la température moyenne des couches d'expériences ne dépassa pas 28° contre 57° pour la couche fumier de cheval-feuilles; par la suite, la différence de température entre les couches se maintint constante et resta de l'ordre de 2° en faveur du fumier de cheval.

En ce qui concerne le pouvoir thermogène proprement dit des couches, les observations faites conduisent aux résultats suivants : par rapport aux températures prises dans le coffre témoin à la même profondeur, on note une différence nette en faveur des couches au fumier artificiel : l'écart, supérieur à 5° au début de l'expérience (période de fermentation active), s'abaisse successivement à 4° (7 juin), 3° (15 juin), 2° (1er juillet) et 1° (15 juillet). Il n'a pas été possible de mettre en évidence de différence nette entre l'action des différents mélanges utilisés, sauf au début de la fermentation (la plus



Fig. 3.
Utilisation du fumier artificiel au point de vue thermique en horticulture.
Expériences du centre national de recherches agronomiques de Versailles (couches artificielles).

active fut la couche n° 2 : paille de meule + solution). Mais dès le 15 mai les courbes de températures tendent à se confondre.

L'action favorable des couches est surtout appréciable la nuit, elle entraîne un amortissement considérable de l'abaissement de la température. L'écart entre les minima relevés dans l'atmosphère des coffres comportant des couches thermogènes et ceux relevés dans le coffre témoin, la manœuvre des paillassons et des châssis étant la même dans les deux cas, est de l'ordre de 2 à 3° (5° au maximum au début de l'expérience) en faveur des couches. Aucune différence notable n'est notée en ce qui concerne les maxima : il est vrai que, dans la journée, l'aération des châssis tend à régulariser les températures dans les différents coffres.

En ce qui concerne l'influence des châssis et paillassons eux-mêmes, elle est de l'ordre de 5 à 10° (différence entre les minima dans le coffre témoin et les minima à l'air libre pris sur le sol gazonné).

III

LE CHAUFFAGE À L'EAU CHAUDE OU À LA VAPEUR D'EAU.

(*Source de chaleur : le charbon.*)

A. — Circulation d'eau chaude.

1° *Thermosiphon.* — Dans le Midi de la France et particulièrement en Vaucluse, dans la vallée de la Durance, de Pertuis à Cavaillon, on chauffe artificiellement le sol par des thermosiphons (forçage des asperges).

Cette pratique déjà ancienne, puisque les premières installations datent de 1900 (M. Poncel, à Lauris), s'est beaucoup répandue jusqu'à la guerre. Actuellement elle n'est plus appliquée que par un petit nombre d'agriculteurs vu les avances d'argent qu'elle exige.

La source de chaleur est l'anthracite que l'on brûle dans une chaudière ayant un foyer semblable à celui des poêles servant au chauffage central par circulation d'eau chaude. L'installation comprend (fig. n° 4) :

Des tuyaux spéciaux placés dans le sol à 40 cm. de profondeur;

Des batteries constituées par un ensemble de vannes permettant de changer périodiquement le sens de la circulation d'eau chaude dans chaque circuit.

La température de l'eau doit être portée, au départ, à 70° C. pour avoir, autour des tuyaux, une chaleur de 30° C. Cette méthode appliquée à la culture des asperges sous châssis ou petites serres permet d'obtenir dans la vallée de la Durance des asperges au bout d'un mois de chauffage (début de janvier).

Les inconvénients de ce procédé sont les suivants :

1° Mauvais rendement du chauffage provenant de ce que l'on ne peut rapprocher suffisamment les tuyaux d'eau chaude du centre de la griffe d'asperges et du chauffage inégal sur toute la longueur malgré les changements de direction établis périodiquement dans la circulation de l'eau chaude;

2° Prix de revient relativement élevé; actuellement une installation pour 1.000 m. de barfcs d'asperges revient à 58.000 francs. Le chauffage demande 25 kg. d'anthracite par kg. d'asperges.

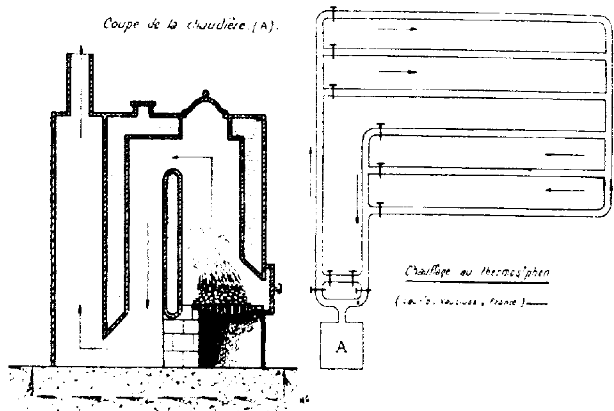


Fig. 4.

Compte tenu de tous les frais d'amortissement, main-d'œuvre, le prix de revient du chauffage au moyen du thermosiphon, par kg. d'asperges est de 16 fr. 25, auquel on ajoutera de 5 à 6 francs suivant le modèle de châssis ou serre employé.

2° *Utilisation des sources d'eau chaude naturelle.* — Certains pays possèdent de nombreuses sources d'eau chaude et des geysers.

En Islande on utilise cette eau pour dégeler les prairies; pour les jardins on fait circuler l'eau chaude dans des drains à peine distants de 3 m. environ. C'est au-dessus des drains que la végétation est la plus luxuriante, en particulier les plantes racines et les choux (25).

En Algérie, on a songé à utiliser les sources chaudes d'Hounnane et Honan au pied de l'Atlas pour la production des primeurs et d'ananas. Mais le projet n'est jamais sorti des cartons administratifs (24).

En France, il y a lieu de signaler, à titre documentaire, que, par un vieux décret royal, l'établissement thermal d'Aix en Provence, doit donner à un propriétaire le trop-plein de son eau chaude (30°) pour l'irrigation des primeurs, servitude existant toujours mais qui n'est plus utilisée!

B. — Chauffage à la vapeur d'eau.

Ce procédé est utilisé en Hollande et aux États-Unis. Le système « Sigma », le plus couramment employé, consiste à envoyer dans des tuyaux de drainage en argile durcie ou en tuyaux de bois imprégné, un courant de vapeur à basse pression. Comme la vapeur est mélangée à l'air on n'observe pas de condensation. Elle pénètre dans le sol par des fentes longitudinales pratiquées dans les tuyaux.

Les expériences poursuivies par M. J. E. Johansonn (18), le système ne fonctionnant qu'une heure par jour, ont donné des résultats intéressants. L'auteur signale que la température du sol peut être élevée à 70° et servir à la désinfection des sols, pratique utilisable pour les serres, notamment.

Le système « Sigma » est adopté également en Hollande au jardin d'expériences de gouvernement d'Alnarp où on l'utilise pour la culture des primeurs (tomates) [15].

IV

CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE DU SOL.

Le chauffage électrique du sol, né en Scandinavie, où il a rapidement progressé, a également tenté les horticulteurs et maraîchers de certains pays, notamment : la Hollande, l'Allemagne, la France, l'Angleterre, la Suisse et les États-Unis.

On chauffe le sol au moyen de résistances électriques (courant de 220 à 380 volts), câbles ou tubes isolés, que l'on place à une certaine profondeur dans le sol où ils sont recouverts ou entourés par une petite couche de tourbe, scorie, charbon de bois ou coke. La résistance du tube est calculée de façon à donner une puissance de 1 à 1,2 kilowatt pour 50 m. de câbles. La température du sol est de 20° autour du câble (voir fig. 5). Il faut environ par m² 5 m. de câbles distants de 20 cm. Le prix de revient est de 70 à 100 francs par m². M. Truffaut, à Versailles (27), a pu abaisser celui-ci à environ 50 francs en utilisant du courant alternatif de 20 à 25 volts et des résistances métalliques nues.

Le chauffage électrique serait intéressant à condition que le prix du courant ne dépassât pas le chiffre de 0 fr. 30 (franc français) le kilowatt-heure. Il présente, en effet, certains avantages : mise en service et régulation rapides et automatiques; stockage et manutention (fumier, charbon) supprimés.

Parmi les nombreux essais déjà effectués et dont nous citerons quelques exemples, beaucoup ont été entrepris par des compagnies d'électricité, mais les renseignements obtenus au point de vue agricole sont malheureusement souvent succincts.

Dans différents pays étrangers les fleuristes ont pu obtenir, grâce au chauffage électrique, pour leurs tulipes et jacinthes, une précocité telle que le gain résultant de leur vente rembourserait rapidement les charges de premier établissement et d'exploitation [expériences entreprises par une Société horticole néerlandaise (11) en Amérique, par le capitaine J. H. Donalston (10)]. S. L. Ensweller et J. R. Tavernetti en Californie ont obtenu sur glaïeuls (variété Prince de Galles) : premières fleurs en sol chauffé le 22 avril et le 8 mai seulement en terre non chauffée (12 et 7).

Appliqué à la culture des primeurs sous châssis ou serre, le chauffage électrique a donné les résultats suivants :

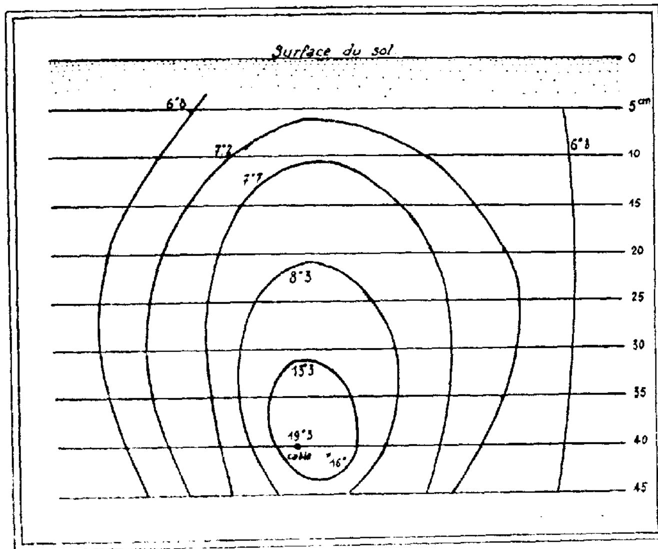


Fig. 5.

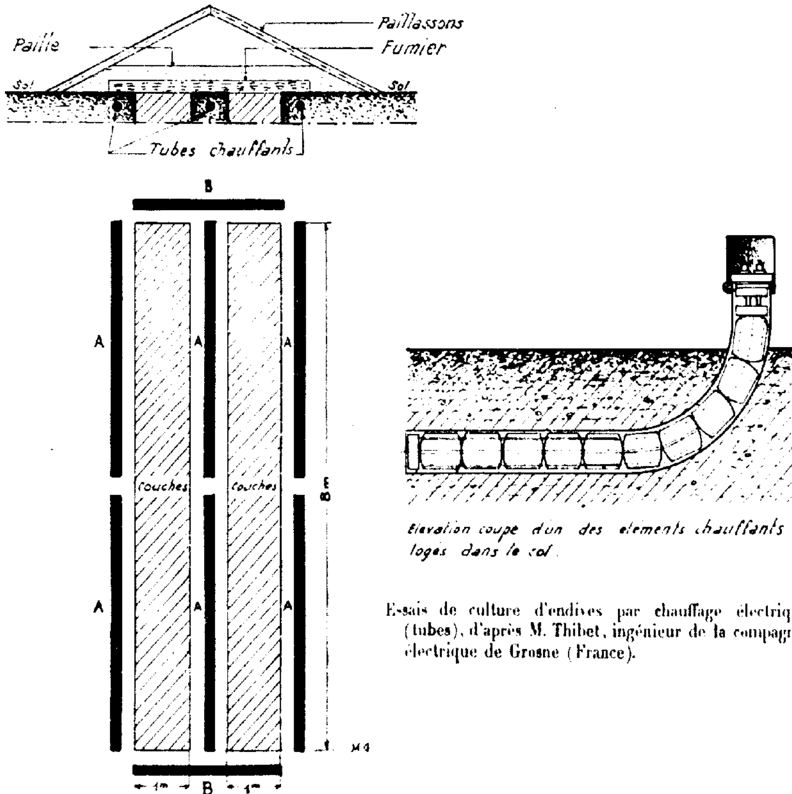
Distribution de la chaleur par chauffage électrique au moyen d'un câble immergé dans du sable de quartz (15/18 watts par mètre – 66 heures de chauffage) – d'après Harry L. Garver.

Les villes hollandaises : *de Haag*, *Delf* et *Rotterdam* ont fait procéder au cours des hivers 1929-1930 à des expériences de chauffage électrique du sol à Naaldwipk, localité située à l'ouest du secteur électrique de distribution des trois villes précitées (équipement de 16 châssis de 13 compartiments chacun). L'expérience a été concluante sous le double point de vue efficacité et économie d'exploitation (17).

En France des expériences ont été faites par différentes compagnies de dis-

tribution électrique chez les jardiniers ou maraîchers et les résultats sont encourageants.

Chauffage des couches pour la culture des endives (compagnie électrique de Grosne*, voir fig. 6).



Essais de culture d'endives par chauffage électrique (tubes), d'après M. Thibet, ingénieur de la compagnie électrique de Grosne (France).

Fig. 6.

Élévation et plan d'une couche chauffée électriquement pour la culture des endives.

Culture forcée des concombres et fraises chez un jardinier de Strasbourg (société d'électricité de Strasbourg*).

*Documents fournis par la Société de Propagande urbaine et rurale d'Électricité, Paris.

Culture forcée des tomates et melons chez un maraîcher de Cavaillon (compagnie du Sud-Électrique d'Avignon).

En Colombie britannique, M. F. H. Fullerton a entrepris des expériences de chauffage électrique de cultures sur couche au moyen d'un câble formé d'un fil de nichrome isolé à la toile enduite et placé sous enveloppe de plomb. Ce câble est enterré à une profondeur de 15 cm.; sa résistance est d'environ 1,5 ohm par mètre et il peut distribuer environ 20 watts par m. (14).

Les essais comparatifs effectués dans des conditions absolument semblables, sauf en ce qui concerne le chauffage du sol effectué électriquement dans un cas et au moyen du fumier (couches naturelles) dans un autre, ont prouvé que la croissance des plantes est beaucoup plus rapide dans le premier cas. D'autre part, M. Fullerton fait remarquer que le chauffage électrique est d'une installation facile se réglant automatiquement au moyen de thermostats. Les résultats furent si intéressants, qu'à l'heure actuelle, dans la Colombie Britannique on compte environ 345.000 m² de couches chauffées électriquement dont les produits représentent un revenu annuel de près de 7 millions de livres sterling.

Des expériences plus méthodiques ont été entreprises *aux États-Unis* et *en Allemagne* :

1° Au Collège Park de Maryland (U. S. A.) le Dr Geo W. Kable a entrepris une étude complète sur le chauffage électrique des couches, des serres, des châssis de germination et enfin du sol découvert, en tenant compte de travaux d'auteurs américains (16), notamment :

J. C. Scott, Schenectady; *Parks*, Columbia (University of Missouri); *M. Mixon*, University Ithaca; *Moses*, University of California; *Demsey*, Market Garden à Waltham Mass.; *Blandy*, Albany N. Y.; *Price*, Oregon State College; *Garder*, Washington State College, etc.

Le Dr Kable indique le meilleur type de construction et la méthode la plus correcte. Il s'est surtout préoccupé d'économiser le plus possible la puissance électrique tout en ayant la même température et le même rendement. (Contrôle par thermomètres enregistreurs placés dans l'air et dans le sol chauffé, à différents niveaux.) C'est ainsi que l'économie atteint 19 p. 100 par un isolement parfait des couches et 20 à 40 p. 100 par l'emploi d'un double vitrage. Le remplacement du verre des châssis par du papier à l'acétate de cellulose ne donne pas un si bon isolement et la puissance électrique utilisée fut plus élevée.

Nous donnons (fig. 7) le schéma d'une des installations de couches avec câble électrique chauffant. Les données au point de vue électrique correspondent sensiblement à celles déjà mentionnées. Les résultats obtenus furent les suivants : les semences de différents légumes germèrent rapidement, les

plants furent vigoureux et les racines se développèrent normalement au contact des câbles électriques sans dommages apparents à l'exception des pommes de terre.

Le Dr Kable signale enfin que des installations expérimentales de chauffage

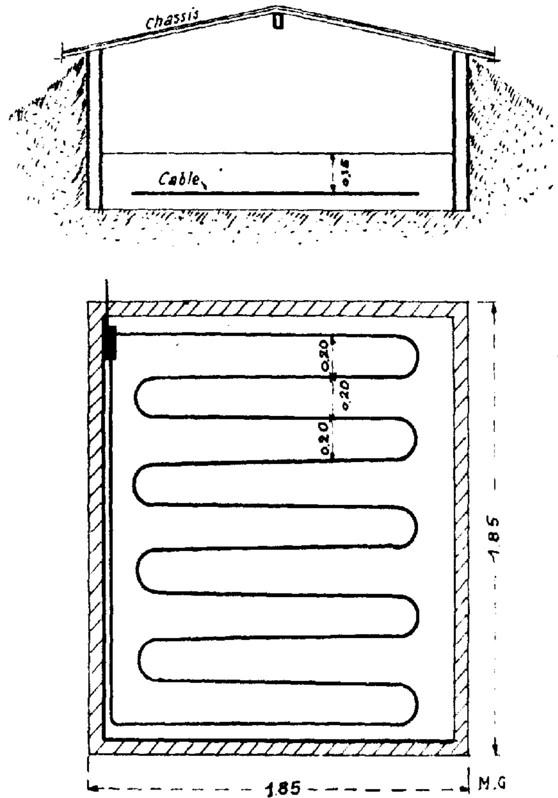


Fig. 7.
Installation d'une couche chauffée à l'électricité d'après Geo W. Kable (U. S. A.),
(National Rural Electric project, n° 5, 1932).

électrique du sol découvert ont été faites dans les États de Californie, Washington, Michigan et New-York aux différentes cultures (concombres, laitues, pois, radis, épinards, rhubarbe, asperges, tomates, fraises). La précocité avec le chauffage varie entre une et trois semaines.

2° *En Saxe* (13), dans une serre nouvellement construite de 1.000 m² de

superficie, au moyen de câbles électriques de chauffage à 30 cm. de profondeur placés en zigzag à raison de 2 m. par m².

La serre est irriguée par voie souterraine et discontinue au moyen d'eau de pluie récupérée et déversée par des tuyaux de grès placés à 35 cm. de profondeur.

Après avoir mis sur les câbles de chauffage la couche de terre nécessaire pour la culture on y a envoyé pendant 50 heures le courant. Puis on a repiqué des plants de laitue et semé des radis en culture intercalaire (23 déc. 1930). Dans une partie de la serre on a réservé une parcelle témoin sans chauffage. On a également opéré l'essai par l'ancienne méthode des couches. Fumure normale et soins culturaux dans les trois essais. Durée de chauffage 10 heures par jour pour un mois, puis 5 heures durant le deuxième mois. Consommation : 9.211 kilowatts-heure.

RÉSULTATS OBTENUS.

ESSAIS.	DATE de LA RÉCOLTE.	PRIX DE VENTE.		TOTAL des RECETTES.	TOTAL des DÉPENSES.	BÉNÉFICES.
		LAITUE.	RADIS.			
		R. Mark. Les 60.	R. Mark. Le 1.000.	R. Mark.	R. Mark.	R. Mark.
Chauffage électrique..	Fin février...	11 00	17 00	1.510	1.282.9	227,1
Couche au fumier....	15 mars.....	9 60	11 00	1.197	903,4	293.6
Sans chauffage......	Début avril..	7 60	9 40	995	769,9	225,1

Compte tenu de tous les frais, les récoltes obtenues avec le chauffage électrique donnent donc le même bénéfice que celles non chauffées. Le seul avantage est d'obtenir, dans le premier cas, une précocité qui rend libre le terrain quarante jours plus tôt. Cela peut permettre en effet de faire une autre culture sans chauffage.

Des essais de chauffage indirect du sol ont eu lieu à *Avignon* (*champ d'expériences de la Station de recherches agronomiques*) de la façon suivante (5) :

On envoyait de l'eau chauffée électriquement dans le réseau d'irrigation souterraine, système continu dit d'Avignon (4-6). On a eu soin, vu l'époque où les besoins en eau des plantes ne sont plus considérables, de laisser un léger drainage s'opérer à l'extrémité du réseau d'irrigation afin d'assurer une petite circulation d'eau dans les tuyaux poreux.

Les parcelles en expériences à l'air libre étaient plantées en pommes de terre de primeurs (variété Esterlingen). Chacune d'elles avait une surface de l'ordre de 200 m² (6 + 32 m.), les tuyaux d'irrigation étant disposés sur trois rangées situés à 1 m. 75 de distance et 45 cm. de profondeur. Une légère

couverture de fumier pailleux atténuait le refroidissement nocturne aussi bien sur parcelle témoin que sur parcelle chauffée.

L'eau était maintenue au départ à une température de 50° par un thermostat. Les températures furent notées à 25 cm. de profondeur et au-dessus des lignes d'irrigation; à 10 cm. de la source de chaleur on observe une différence de 8 à 10° en faveur de la parcelle chauffée. Cette différence atteint à peine 1° au bout des lignes, soit à 32 m. de la source de chaleur. Pour une durée de chauffage de deux mois (5 février-5 avril 1932) la dépense d'électricité a été de 1.745 kilowatts-heure pour une augmentation de rendement de 70 p. 100. Ces chiffres montrent, comme nous le disions au début de ce paragraphe, qu'il est inutile de s'intéresser à ce procédé de chauffage électrique si le prix maximum du kilowatt-heure n'est pas de l'ordre de 0 fr. 30 (francs français).

A la Station de recherches de Cheshunt, Smith, Gardner et Hudson (26) signalent des résultats intéressants obtenus en utilisant des conduits d'eau chaude chauffés électriquement. Les tomates venues en sol chauffé ont donné en avril et mai 132 livres, celles des serres de contrôle 31 livres seulement (prix de vente).

CONCLUSIONS.

Nous avons rassemblé dans ce rapport un certain nombre de documents relatant les divers procédés de : «chauffage du sol».

Cette pratique, déjà fort ancienne, puisque les couches naturelles ont toujours été utilisées par nos jardiniers, commence à bénéficier des nouveaux avantages que la technique moderne a apportés à l'horticulture. C'est ainsi qu'au début de ce siècle, les maraîchers provençaux ont employé la méthode au thermosiphon (le charbon étant la source de chaleur) pour chauffer leurs bancs d'asperges sous châssis.

Mais ces deux premiers procédés risquent d'être abandonnés, car ils sont onéreux et présentent certains inconvénients. D'abord le fumier est cher, car il devient de plus en plus rare, d'autre part, les frais d'une installation au thermosiphon sont très élevés. Aussi envisage-t-on l'emploi plus économique des fumiers artificiels au point de vue thermique et l'utilisation de la fermentation de certains débris organiques pour le forçage des primeurs (notamment déchets de coton, dans la culture de l'asperge sous serre).

Enfin, le chauffage électrique du sol, solution élégante et pratique est actuellement à l'ordre du jour. L'électrification des campagnes, qui est aujourd'hui très avancée, permet d'envisager l'emploi de cette méthode pour chauffer le sol sous serres ou châssis, mais à une condition *sine qua non* : que les compa-

gnies d'électricité, qui peuvent trouver ainsi l'utilisation de kilowatts de contre-pointe disponibles durant la nuit, consentent à vendre leur courant à un prix raisonnable.

Les résultats des premiers essais obtenus sont, comme nous l'avons signalé, assez encourageants. Mais des expériences doivent être poursuivies, tant pour bien déterminer la technique exacte de ces nouveaux procédés de chauffage du sol, avec utilisation rationnelle des serres, que pour être fixé sur leur action réelle sur la production des primeurs.

SUMMARY.

In the growth of early vegetables several sources of heat are used for warming the soil :

I. — The sun glass house garden-frames.

II. — Fermentation natural and artificial hot-beds.

III. — Coal hot water. thermosiphon or steam.

IV. — Electricity direct or indirect heating.

1° There are a great many kinds of glass houses and garden-frames the different parts of the apparatus of which are not rational. The author examines the different scientific conditions that ought to be taken into account and on this particular subject he specially mentions the experiments of M. Raymond at Antibes.

2° Natural hot-beds with farm manure becoming more and more difficult to make owing to the scarcity of manure, the author describes the new processes of artificial hot-beds. He mentions his own work on this subject and Mssrs Geslin, Henin and Marcel's experiments made at Versailles.

The use of cotton waste (fermentation) for the early growing of asparagus seems to be efficient too (Albenga-Avignon).

3° Hot water heating (thermosiphon) has been used in France (Vaucluse as soon as 1900). But owing to its expensive fitting up and its inadequate return it is now somewhat given up.

Steam (Sigma system) is used in Holland and America for heating the soil. Eventually it can serve to disinfect the soil of hot houses.

4° Heating the soil by means of electricity seems to be the most convenient and practical if Electricity companies could find in it the employment of all the surplus power they produce in the night and would be willing to sell the current at not more than Fr. 0,30 (French money) per unit.

The author indicates the different apparatus used and examines each of the experiments that for the last 4 or 5 years have been made in the United States, where Dr. Kable has fully studied that question, as well as in Europe where many experiments have been carried out with encouraging results.

The author concludes by saying that it would be advisable to carry on experiments both in order to ascertain precisely the exact technique of all the new processes of soil-warming, and also the rational use of glass houses, and to ascertain what is their actual effect on the early growth of vegetables.

BIBLIOGRAPHIE.

(1) J. Bordas. — Les couches artificielles et le forçage des asperges. *Ann. Agron.*, 1932, 2, 654-669.

(2) J. Bordas. — Acad. des Sciences. Prix Bellion, 1930.

(3) J. Bordas. — Le fumier artificiel et l'utilisation des résidus urbains. *Bull. de la Soc. d'Encouragement pour l'Industrie nationale,* 1931, 130, 571.

(4) J. Bordas. — Contribution à l'étude de l'irrigation souterraine. Assoc. Inter. Sc. du Sol, 6e Comm. Congrès Groningen. Vol. A. 1932, p. 214, 236.

(5) J. Bordas. — Le chauffage du sol. *Rapport sur le fonctionnement de l'Inst. des Rech. Agr.,* 1932, p. 35.

(6) J. Bordas et G. Mathieu. — Recherches sur la force de succion des sols et l'irrigation souterraine. *Ann. Sc. Agron.* 1931, 131. *Bullet. de la Soc. d'Encouragement pour l'Industrie nationale,* C. R. Ac. Agric. 1930, 15, p. 115-119.

(7) Boyer. — Le chauffage électrique des châssis et des serres. *La Nature,* 1933, p. 524.

(8) Bussard. — Culture potagère et maraîchère, 1925, p. 97, Baillère, édit.

(9) Demolon et Burgevin. — Expériences sur le fumier artificiel. Rap. sur le fonctionnement de l'Inst. des Rech. Agr., 1929, vol. IX, mai 1931, p. 217-218.

(10) D'après l'*Electrofarming* de juin 1930.

(11) D'après l'*Electrotechnick* du 16 octobre 1929.

(12) S. L. Emsweller et J. R. Tavernetti. — The effect on gladiol of heating the soil with electricity. *Amer. Soc. Hort. Sc. proc.,* 1931, 28, p. 398-401.

(13) D'après le *Génie Rural* et *la Grande revue agricole,* 1932, p. 38.

(14) M. P. H. Fullerton. — Le chauffage électrique des cultures sur couches. — *Electrical Review,* 7 octobre 1932. Extrait des *Ann. Ministère Agric.,* Paris, fasc. 62, p. 325.

(15) Grone. — Soil heating for early grap. *The Gardeners Chronicle,* 1932, n° 4757.

(16) Geo W. Kable. — College Park Maryland. Report n° 5-7-8.

(17) D'après l'*Industrie électrique,* 1931, n° 927.

(18) Johansonn. — Some Experiments in soil heating. — *The Journal of the Ministry of Agr.,* 1933, XXXIX, p. 1113-1116.

(19) Marcel-Geslin-Henin. — Utilisation du fumier artificiel au point de vue thermique en horticulture. *Ann. Agron.,* 1932, 2, 670-674.

(20) G. Mathieu. — Méthode italienne de culture forcée de l'asperge. *Le Progrès agricole et viticole,* 1933, 50, 480-485.

(21) G. Mathieu. — Contribution à l'étude des rapports entre l'eau, le sol et la plante. Thèse doctorat Univers. de Clermont, décembre 1932.

(22) M. Moulinot. — Couche économique, couche artificielle. *Agr. nouvelle,* 13 février 1932.

(23) M. Raymond. — Études pratiques pour l'amélioration des serres chauffées sur le littoral méditerranéen. (Travaux non publiés.)

(24) RIVIÈRE et LECOCQ. — Culture du midi, p. 57. Baillère, édit.

(25) SIGURDSSON S. — Verwertung der Erdhitze in Island unter besonderer Berücksichtigung des Gartenbaus. *Die Ernäh der Pflanze*, 1-5 1932, XXVIII.

(26) J. H. SMITH, H. W. GARDNER et C. E. HUDSON. — Température du sol en horticulture. *The Journal of the Ministry of Agric.*, 1934, XL, 990-995.

(27) G. TRUFFAUT. — Le chauffage électrique du sol. *Chimie et industrie.* — XI[e] Congrès, mars 1932, p. 849.

DISCUSSION.

a. SOIL MOISTURE, BODENFEUCHTIGKEIT, HUMIDITÉ DU SOL.

ROLLEY. — Insiste sur la nécessité de donner une définition précise des divers facteurs de l'hydrodynamique des sols. Le mot perméabilité employé par M. Hooghoudt est dénommé coefficient de filtration en France.

BURGEVIN. — Je voudrais insister sur la complexité de la notion d'hygroscopicité du sol. On sait que la première partie de la courbe d'hygroscopicité, celle qui correspond sensiblement aux tensions de vapeur inférieures à 7-8 millimètres de mercure, exprime des actions de surface et répond d'une manière satisfaisante à la formule de Freundlich. La branche supérieure de la courbe résulte de la superposition aux actions de condensation de la vapeur d'eau dans les microcapillaires. Il faut y ajouter une troisième action, à la vérité assez faible, mais qui s'exerce dans la même zone de tension de vapeur d'eau. C'est celle de l'hygroscopicité des sels du sol qui commence à intervenir dès que la tension de vapeur dépasse 40 p. 100 de la tension maximum. L'hygroscopicité exprimée par la quantité d'eau fixée par le sol pour une certaine tension de vapeur, est donc la résultante d'au moins trois actions distinctes.

FAUSER. — Zur Frage nach dem Stand der Arbeiten des Ausschusses für die Begrifsbestimmung der Arten des unterirdischen Wassers kann ich leider nichts Positives berichten. Die 6 Kommission hat den Arbeitsausschuss auf ihrer Tagung in Holland im Juli 1932 in einer Entschliessung ersucht, seine Arbeiten möglichst zu beschleunigen. Unter Bezugnahme auf diese Entschliessung habe ich dann im Mai 1933 den Herrn Vorsitzenden des Arbeitsausschusses gebeten, mir für den Teil A der Verhandlungen des III internationalen Bodenkundlichen Kongresses bis spätestens zum Juli 1934 einen Bericht über die Arbeiten des Ausschusses zugehen zu lassen, bin ich aber bis jetzt ohne Antwort geblieben. Ich werde nun nach meiner Heimkehr nochmals an Herrn Professor Zunker schreiben.

GIESECKE. — Es ist für uns nicht so wichtig, den absoluten Wassergehalt des Bodens festzustellen, es ist viel wichtiger die Menge an pflanzenaufnehmbaren Wasser kennen zu lernen. Dieses beweglich Wasser ist auch für die Wirkung der Düngermittel entscheidend. Aus den Untersuchungen Mitscherlich's und den Versuchen Sekera's sowie Vageler's und Alten's lässt sich die Bedeutung der verschiedenen Formen des Wassers erkennen. Ich möchte daher im Ausschliess an die hier von Prof. Smolik gestellte Forderung anknüpfen und vorschlagen die Hygroskopizitätsbestimmung von Mitscherlich international darauf zu prüfen, ob sie in der Lage ist, uns etwas über das «unbewegliche Wasser» zu sagen.

Porchet (Sur la contribution de M. Hooghoudt). — Les méthodes de laboratoire ont pour objet d'établir des relations entre les résultats donnés par l'étude de la structure du sol (analyse mécanique par exemple) et les grandeurs caractéristiques d'un sol au point de vue de la circulation de l'eau (K, μ, η).

Nous ne dirons rien de la surface spécifique sinon que cette dénomination est surprenante pour une grandeur qui a pour dimension L^{-1}.

En ce qui concerne les diverses définitions du coefficient K, nous estimons que seules doivent être retenues celles qui donnent à K les dimensions d'une vitesse, car pour l'utilisation pratique K est la grandeur par laquelle on multiplie une surface pour avoir un débit.

En résumé nous estimons que pour les applications on doit exclusivement utiliser les caractéristiques hydrodynamiques (K, μ, η) déterminées par des essais sur les terrains en place.

Les recherches de laboratoire très délicates à conduire peuvent déterminer s'il y a une relation entre les résultats d'analyse physiques ou mécaniques et les caractéristiques hydrodynamiques. Elles doivent toujours attribuer à ces caractéristiques les dimensions qui leur sont assignées par les utilisations pratiques.

Diserens. — Les résultats de ce travail sont importants parce qu'ils montrent que pour les sols sableux, tout au moins, les déterminations de laboratoire sont applicables avec une grande exactitude aux phénomènes de circulation d'eau souterraine en plein champ.

Les méthodes décrites permettent de préciser le degré d'exactitude des déterminations et de tenir compte de la température, c'est-à-dire la viscosité de l'eau, et la porosité.

Nous admettions couramment depuis environ huit ans que l'on pouvait utiliser les déterminations de laboratoire pour les sols sableux mais que pour les sols argileux, il fallait recourir aux déterminations en plein champ. Cette opinion est confirmée par le travail de Mr. Hooghoudt.

La méthode à colonne de terre ou procédé de filtration d'après Porchet ne permet de déterminer les trois constantes pour la circulation de l'eau, vitesse de filtration, volume d'eau en mouvement et hauteur capillaire que lorsque la hauteur de la colonne de terre est plus grande que la hauteur capillaire. Lorsque cela n'est pas le cas, il faut recourir au laboratoire à l'appareil du Dr Engelhardt pour la hauteur ou pression capillaire et à l'appareil Hooghoudt pour connaître le volume de l'eau mobile du sol.

Ces trois grandeurs physiques sont reliées entre elles par l'équation qui exprime le mouvement d'ascension capillaire.

$$\mu \frac{dh}{dt} = K \frac{\eta - h}{h} \quad \text{ou} \quad \eta \log \frac{\eta}{\eta - h} - h = \frac{K}{\mu} t.$$

Donc si l'on connaît la hauteur capillaire et le volume de l'eau en mouvement ou perméabilité de Porchet, on en déduit la vitesse apparente ou réelle de filtration.

Concernant les appellations, il faut bien distinguer la vitesse de filtration, préférable au terme percolation, et la perméabilité proprement dite ou volume de l'eau en mouvement. Ce dernier terme sert à connaître les débits et à exprimer les réserves d'eau du sol.

Il est exact que l'expression *rapport spécifique de la surface* ou Verhältniszahl der Oberfläche permet d'exprimer par un seul chiffre les résultats de l'analyse mécanique des terres. Le terme de surface spécifique devrait être modifié dans ce sens. Ce rapport spé-

cifique est dans une relation déterminée avec la vitesse de filtration et la hauteur capillaire.

Mr. Hooghoudt n'a pas trouvé de relation entre l'eau d'adhésion ou eau hygroscopique et la porosité parce que l'eau d'adhésion dépend de la structure. Il n'a pas trouvé davantage de relation entre la vitesse de filtration et la perméabilité proprement dite. Les valeurs qu'il a indiquées pour cette dernière grandeur physique sont exactes pour les sols sableux, mais pour les sols argileux les valeurs sont beaucoup plus faibles.

Nous croyons qu'il serait utile de comparer entre elles les vitesses d'ascension capillaire ou pressions capillaires obtenues par divers procédés.

Hénin. — Étant donné les divergences de vues des différents chercheurs sur la forme et la possibilité d'application des formules mathématiques donnant la surface spécifique, je pense qu'il est préférable de leur substituer des expressions en relation étroite avec les résultats de l'analyse mécanique et d'application facile, dans le genre du coefficient T que j'ai proposé.

b. TEMPÉRATURE DU SOL, BODENTEMPERATUR, SOIL TEMPERATURE.

Bordas. — Pour compléter mon rapport permettez-moi de vous donner brièvement les résultats de nos essais du début de cette année sur le chauffage électrique des couches, expériences qui ne figurent pas au rapport imprimé que vous avez sous les yeux.

Ces essais ont été entrepris d'accord avec les Sociétés d'électricité de la région provençale qui consentent éventuellement à livrer le courant «force», durant la nuit, au prix de o fr. 30 ou o fr. 35 le kilowatt-heure.

Les expériences ont été faites :

1° Sur 2 châssis dont la terre était chauffée au moyen d'un fil électrique (fil 8/10" Constantan s/plombé), placé à o m. 20 de profondeur, en zig zag, l'écartement des branches est de o m. 25;

2° Sur 2 autres châssis placés à la suite où la terre n'était pas chauffée. Ce dernier procédé représente les conditions habituelles d'obtention des semis de melons, aubergines, tomates, etc., dans la région provençale.

La terre des coffres était une terre vierge dont la nature physique et la composition chimique nous étaient connues. Elle fut mélangée à une quantité déterminée de terreau aseptique et d'engrais minéraux.

Grâce au procédé d'irrigation souterraine (système d'Avignon), l'humidité a été maintenue aux environs de 20 p. 100 soit 60 p. 100 de la capacité totale pour l'eau.

Le chauffage électrique a duré dix-huit jours de 20 heures à 6 heures.

Nous avons effectué de nombreuses mesures de température afin de nous rendre compte de la répartition de la chaleur et du pouvoir thermogène dans les châssis (dans la terre à différents niveaux — dans l'air — sous les châssis comparativement aux températures prises extérieurement).

La température du sol chauffé n'est jamais descendue au-dessous de 20° C. tandis qu'en terre non chauffée elle atteignait souvent 9 et 10 degrés.

Consommation. — 0,25 kilowatt-heure par châssis, soit *37 francs* pour les dix-huit jours de chauffage nocturne de nos 2 châssis.

Prix de revient de l'installation : 550 francs. — D'après devis établi en tenant compte de l'équipement électrique existant déjà chez les maraîchers et permettant l'installation de 5 châssis.

Résultats agronomiques. — Les semis de melons «Charentais» furent faits le 13 mars pour les 4 châssis. La levée eut lieu le 19 mars pour les 2 châssis chauffés électriquement et le 26 pour ceux non chauffés.

La germination s'opéra d'une façon beaucoup plus régulière en sol maintenu à 22/25 degrés.

Le repiquage des plants de melons provenant des couches chauffées a eu lieu le 29 mars tandis que la mise en place des autres plants ne se fit que le 14 avril soit avec plus de quinze jours de retard.

Nous avons remarqué, d'autre part, que la méthode du chauffage électrique des couches combinée à celle de l'irrigation souterraine sont susceptibles d'apporter les conditions extrinsèques optima d'une bonne germination (température, aération, humidité) permettant d'obtenir des plants bien développés et mieux résistants aux maladies cryptogamiques.

Spirhanzl. — Zu den Ausführungen des Herrn Referenten Geslin sei mir erlaubt, noch einige Materialergänzungen beifügen zu dürfen. In dem ausserordentlich strengen Winter 1928/29, als die Fröste auch in der Tschechoslovakei bis — 40° C. erreichten, habe ich auch im Staatlichen Bioklimatologischen Institut in Prag eine Enquête hervorgerufen, die feststellen sollte, auf welche Weise das Einfrieren und Auftauen des Boden erfolgt. Die Resultate wurden in einer Publikation des tschechosl. Landwirtschaftministeriums [1] im Jahre 1930 veröffentlicht.

Die wichtigsten Ergebnisse der Beobachtungen, welche an 156 Orten Böhmens durchgeführt wurden, kann man auf folgende Weise kurz zusammenfassen :

Nachdem der Boden allgemein durch eine ziehmlich mächtige Schneeschichte bedeckt war, wurden manche feineren Einflüsse z. B. der der Bodenart, der Bodenbearbeitung und die Wirkung der Pflanzendecke, teilweise verwischt. Trotzdem aber konnte man sehr deutlich konstatieren, dass

1. Die leichteren Böden tiefer durchfroren waren,

2. Die feuchteren Böden tiefer durchfroren waren,

3. am seichtesten froren solche Böden durch, welche an der Oberfläche gelockert worden sind (Winterfurche),

4. Der Grasbestand sich als guter Isolator bewertet hat, denn es wurde festgestellt, dass der Feldackerboden etwa 3-4 mal so tief eingefroren war, als der Wiesenboden desselben Ortes (82 : 23 cm, 40 : 13 cm., etc.).

---

[1] Minar M. Ing. «Das Einfrieren u. Auftauen der Böden im Winter 1928-1929 in Böhmen.» tschechisch mit deutscher Zusammenfassung. *Bulletin des Instituts de recherches agronomiques de la R. C. S.*, n° 43, Praha 1930.

5. In den Städten fror der Boden allgemein tiefer durch als der Feldboden u. zw. bis 100-200 cm. Dabei haben sich nicht nur die allgemeinen Einflüsse geltend gemacht (also z. B. die Beschaffenheit der Schneedecke, die Bodenart u.- feuchtigkeit), sondern auch die Bekleidung der Bodenfläche : gepflasterter Boden fror sehr tief durch, dagegen der Teer am Gehsteig hemmte das Eindringen des Frostes in den Boden ausgiebig.

Bezüglich des Auftauens des Bodens wurde konstatiert.

1. Das wichtigste ist das Auftauen von unten, welches 2-3 fach so ergiebig wird als jenes von oben.

2. Es beginnt gleich nach dem Rücktritt der grössten Fröste, dagegen von oben konnte der Boden erst nach der Schneeschmelze anfangen. Zwischen dem Schneewasser und dem eingefrorenen Boden hat sich eine Eiskruste gebildet, die das Einsickern des Wassers beinahe völlig verhinderte, so dass das Wasser oberflächlich wegfloss und die «Winterfeuchtigkeit» verloren ging.

3. Interessant war auch die Beobachtung, dass der geackerte Boden zwar rasch auf die Furchentiefe auftaute, dann aber im Untergrund das Auftauen nur sehr langsam vor sich ging und der Uebergang vom aufgetauten zum eingefrorenen Boden scharf war, dagegen war der Uebergang des gefrorenen Bodens zu dem von unten aufgetauten Boden allmählich.

Die Detailangaben sind im erwähnten Buche zu finden, das ich mir dem Herrn Referenten vorzulegen erlaube. Das Verfolgen u. Beobachten der Temperaturverhältnisse im Boden halten wir für ausserordentlich wichtig nicht nur vom Standpunkte der *Bioklimatologie*, sondern auch mit Rücksicht auf die Veränderungen des *physikalischen Bodenzustandes*. Darum empfehle ich diesen Erscheinungen auch entsprechendes *bodenkundliches* Interesse zu widmen.

GIESECKE. - Im Ausschliess an die Ausführungen von Prof. Spirhanzl darf ich an meine Erfahrungen an türkische Verhältnisse anknüpfen. Die Bodentemperaturen zeigen hier zeitweise ausserordentlich hohe Werte, so dass ich eine Prüfung der Frage vorschlagen möchte, inwieweit durch solche hohe Temperaturen eine Beeinflüssung der Bodenkolloide stattfindet. Diese Frage ist entschiedend für fast alle Bodeneigenschaften, wie z. B. Hygroskopizität, Wasserkapazität, Absorption, usw. Es erscheint möglich, dass die Bodenfruchtbarkeit gerade durch die Bodentemperaturen beeinflüsst wird.

RÉSOLUTION V. (Voir page 310.)

RÉSOLUTIONS.

I

DISPERSION OF SOIL IN MECHANICAL ANALYSIS.

In order to establish a standard, the first Commission recommends the use of sodium hydroxide in place of ammonia, in the A-method for mechanical analysis, at the rate of 4 cc. of normal NaOH per 500 cc. per 10 g. soil. Alternative methods may be used with particular groups of soils where they are known to give substantially the same results as the standard method.

It is suggested that further comparisons be made between the standard method and those using sodium carbonate, sodium oxalate and sodium citrate (Demolon et Bastisse).

I

DISPERSION DU SOL DANS L'ANALYSE MÉCANIQUE.

La première Commission recommande l'utilisation de la soude caustique à la dose de 4 centimètres cubes de NaOH normale par 500 centimètres cubes et par 10 grammes de sol, pour remplacer l'ammoniaque dans la methode A d'analyse mécanique, et pense que l'on peut utiliser d'autres méthodes, chaque fois que l'on aura l'assurance d'obtenir des résultats concordant avec ceux de la méthode internationale.

D'autre part, la première Commission propose que des comparaisons soient faites entre la méthode standard et les autres méthodes, carbonate de soude, oxalage de soude, et citrate de soude (Demolon et Bastisse).

I

DISPERGIERUNG DES BODENS BEI MECANISCHE BODENANALYSE.

Die Erste Kommission empfiehlt als Standardverfahren, beim Verfahren A des Bodens für die mechanische Bodenanalyse statt des Ammoniaks Natronlauge in einer Menge von 4 cc. normal NaOH je 500 cc. auf 10 g. Boden zu verwenden. Andere Verfahren können bei bestimmten Bodenarten dann angewandt werden, wenn bekannt ist, dass sie im wesentlichen die gleichen Ergebnisse haben wie die Standard-methode.

Es wird vorgeschlagen, zwischen der Standardverfahren und Verfahren, bei denen Natriumkarbonat, Natriumoxalat und Natriumzitrat (Demolon u. Bastisse) benutzt wird, weitere Vergleiche durchzuführen.

II

GRUPPIERUNG DER FRAKTIONEN DER MECANISCHEN BODENANALYSE.

Für die Fraktionierung der Körner bei der mechanischen Bodenanalyse werden folgende internationale Normen festgesetzt :

Zur Sortierung gröberer Körner als 0.002 mm. wird bis zur dimension 0.02 mm. die Stokes'sche Formel verwendet, für gröbere Teilchen als 0.2 mm. werden grundsätzlich genaue Siebe empfohlen. (Für die Fraktion kleiner als 0.002 mm. selbst gilt als Grundlage 8 Stunden Fallzeit auf 10 cm. Fallhöhe bei 20° C.),

Feinere Fraktionen als 0.02 mm. sollen durch Dekantieren oder Pipettieren, gröbere als 0.02 bis 0.2 mm. mit Hilfe von Spülapparaten und Sande gröber als 0.2 mm. mit Sieben sortiert werden.

Besondere Vorschläge für einzelne Bestimmungsmethoden :

1. *Pipette-Methoden.* — Die besondere Rücksichtnahme auf die Temperatur erfordert Raüme mit konstanter Temperatur oder für einzelnen Sedimentier-zylinder Dewar- oder Thermosflaschen, für Massenanalysen eine Unterbringung der Sedimentierzylinder in Thermostaten. Der Durchmesser der Sedimentierzylinder für dans Pipettieren soll nicht kleiner als 6 cm. und nicht grösser als 8 cm. sein. Die Vorbereitung der zum Pipettieren bestimmten Bodenproben erfordert deren Behandlung nach der intern. Methode A sowie eine gründliche Beseitigung der Koagulations-elektrolyte. Die Pipetten können mit Zwei- oder Dreiweg-Hähnen versehen werden. Es empfiehlt sich, zum Ansaugen eine Luftpumpe oder eine andere Pumpe zu verwenden. Als Ansaugezeit gelten bei Pipetten von 20 cc für jede Fraktion ca. 20 Sekunden.

2. *Die Dekantier-Methoden.* — Die Dekantier-Methoden gelten als gleichwertig mit den Pipette-Methoden. Als Vergleichsmethode für beide soll jedoch (bei Fraktionen kleiner als 0.02 mm.) die Dekantiermethode gelten.

Die Dekantiermethoden sind unbedingt notwendig bei mechanischen Analysen von Boden, die nach der intern-B Methode präpariert wurden. Der Durchmesser der Dekantierzylinder soll nicht kleiner als 6 cm. und nicht grösser als 8 cm. sein.

3. *Spülmethoden.* — Die Spülmethoden und Dekantiermethoden sind für gröbere Fraktionen als gleichwertig anzusehen. Die Spülmethoden dürfen nur für die Trennung der Fraktionen zwischen 0.02 und 0.2 mm. benutzt werden.

4. *Siebmethoden.* — Zur Trennung der Feinerde von Bodenskelett und zur weiteren Sortierung des Skeletts (gröber als 2.0 mm.) kann man Siebe mit runden Löchern verwenden. Zur Sortierung von Sand unter 2 mm. bis 0.2 mm. sollen Drahtsiebe mit quadratischen Löchern Anwendung finden. Beim Durchsieben ist der Maschinenarbeit der Vorzug zu geben, und zwar sollen die Sande im feuchten Zustande analysiert werden. Es empfiehlt sich nachzuprüfen, ob man im feuchten Zustande nicht bis 0.04 mm. anwenden kann. Bei Sandanalysen, die mit Hilfe von Sieben durchgeführt werden, soll immer die Herkunft der verwendeten Siebe angegeben werden. Die Sande sollen entweder nach der Methode A oder wenigstens mittels Auskochens mit werdünnter Salzsaüre (ca 0.2 N) vorbereitet werden.

Die Normung der im Referate vorgeschlagenen Apparate soll in Erwägung gezogen werden.

II

GROUPING OF FRACTIONS IN MECHANICAL ANALYSIS.

For the definition of fractions coarser than 0.002 mm. the Stokes formula may be used up to 0.2 mm. The fraction < 0.002 mm., is defined by 8 hour settling through 10 cm. at 20° C. For fractions coarser than 0.2 mm. accurate sieves are to be used.

Fractions finer than 0.02 mm. shall be determined by decantation or pipette methods, fractions between 0.02 and 0.2 mm. by elutriation methods, and fractions coarser than 0.2 mm. by sieving.

The following proposals are made for the individual determinations :

1. *Pipette method.* — Owing to the temperature effect it is desirable to operate in a constant-temperature room, or to use vacuum vessels. For large numbers of analyses, thermostatic control may be used. The diameter of the sedimentation cylinder should be 6-8 cms. The preliminary treatment should be that of International method — A with thorough removal of electrolytes. The pipette may be furnished with a two- or three-way tap and operated by a filter-pump or air-pump. Filling of a 20 cc. pipette should occupy about 20 seconds.

2. *Decantation Method.* — The decantation method is to be considered equivalent to the pipette method. As a standard for comparison, with fractions less than 0.02 mm., the decantation method is recommended. The decantation method must be used in analyses where the International-A method of dispersion is used. The diameter of the decantation cylinder should be 6-8 cms.

3. *Elutriation Method.* — The elutriation method is to be used only for fractions between 0.2 and 0.02 mm. and is to be considered équivalent to the decantation method over this range.

4. *Sieve Method.* For the separation of the fine earth and for the further fractionation of particles 2.0 mm., sieves with circular holes may be used. For the fractionation of particles between 2 mm. and 0.2 mm. mesh sieves with square apertures are to be used. Mechanical sieving devices may be recommended and the separation carried out in the wet way. It is desirable to examine whether, by wet sieving, accurate separation may be effected down to 0.01 mm. In analyses with sieves, the make of sieve should be specified. In sand determinations by sieve the International-A method or boiling with dilute hydrochloric acid (0.2 N) should be used for dispersion.

The standardisation of apparatus should be examined.

II

GROUPEMENT DES FRACTIONS DANS L'ANALYSE MÉCANIQUE.

Dans la définition des fractions plus grosses que 0,002 la formule de Stokes peut être utilisée jusqu'à 0,2. La fraction plus petite que 0,002 est définie par une sédimentation de 8 heures pour 10 cm. à 20° cent. Pour les fractions au delà de 0,2 on emploiera des tamis convenables.

Les fractions inférieures à 0,02 seront déterminées par décantation ou par la méthode pipette, les fractions comprises entre 0,02 et 0,2 par la lévigation et celles supérieures à 0,2 par tamisage.

Les modalités suivantes sont proposées au point de vue technique :

Méthode pipette. — Etant donné l'influence de la température, il est préférable d'opérer dans une salle à température constante ou d'utiliser une éprouvette à isolement par le vide. Pour des analyses en série on peut employer un thermostat. Le diamètre des éprouvettes de sédimentation doit être de 6 à 8 cm.

Le traitement préalable doit être celui de la méthode internationale A, l'échantillon étant complètement privé d'électrolytes. La pipette peut être munie d'un robinet à 2 ou 3 voies et l'on peut opérer à l'aide d'une trompe à vide ou d'une pompe à air. Le remplissage de la pipette doit durer 20 secondes.

Méthode par décantation. — Elle peut être considérée comme équivalent à la méthode pipette. Comme standard pour les comparaisons portant sur les fractions inférieures à 0,02 mm., on recommande la méthode par décantation. Cette méthode peut être utilisée quand on emploie la méthode internationale A pour la dispersion. Le diamètre de l'éprouvette à décantation doit être de 6 à 8 cm.

Lévigation. — Cette méthode doit être utilisée seulement entre 0,2 et 0,02 mm. Entre ces limites on considère qu'elle donne des résultats comparables à ceux obtenus par la méthode de décantation.

Tamisage. — Pour la séparation de la terre fine et pour les fractions inférieures à 2 mm., on peut utiliser un tamis à trous ronds. Pour le fractionnement des particules entre 2 et 0,2 mm. un tamis à trous carrés peut être employé. Le tamisage par voie mécanique est recommandé, la séparation s'effectuant sous courant d'eau. Il serait intéressant d'examiner si le tamisage sous courant d'eau donne des résultats convenables jusqu'à 0,01 mm. Dans l'analyse avec tamis, la fabrication du matériel doit être indiquée. Dans la séparation du sable au moyen de tamis la méthode internationale-A, ébullition avec acide chlorhydrique diluée (0,2 N) doit être employée pour la dispersion.

L'exactitude de l'appareil doit être contrôlée.

III

STRUCTURE DU SOL.

La première Commission estime que le problème de la structure du sol doit retenir son attention.

Elle recommande particulièrement l'examen des questions suivantes :

A. Méthodes directes permettant de déterminer la structure des sols en place.

B. La stabilité des agrégats doit être étudiée sous :

a. L'influence de l'eau;

b. L'influence des sels.

C. Composition des ciments dans les différents sols et leurs horizons.

D. Influence de la structure sur la fertilité du sol.

E. Facteurs susceptibles de modifier la structure sous l'influence de l'humidité du sol.

III

SOIL STRUCTURE.

The first Commission considers that the Structure of soil should be a matter for its consideration.

It recommends particularly an examination of the following questions :

A. Direct methods for determining soil structure «*in situ*».

B. The stability of aggregates should be studied under :

a. The influence of water;

b. The influence of electrolytes.

C. The composition of materials causing cementation in different soils, and their horizons.

D. Factors which modify structure under the influence of soil humidity.

E. Influence of structure on the fertility of the soil.

III

BODENSTRUKTUR.

Die erste Kommission ist der Ansicht dass die Bodenstruktur weiter studiert werden soll.

Sie empfiehlt besonders das Studium folgender Fragen :

A. Die Methode zur Bestimmung der Bodenstruktur in natürlicher Lagerung.

B. Die Stabilität der Aggregats :

a. Unter den Einfluss des Wassers;

b. Unter den Einfluss der Elektrolyten.

C. Die Zusammensetzung der Bindemittel in verchiedenen Boden in ihren Horizonten.

D. Der Einfluss der Struktur auf die Fruchtbarkeit des Bodens.

E. Die Faktoren welche im Stande sind die Struktur unter Einfluss der Feuchtigke zu wirken.

IV

FIRST COMMISSION NOMENCLATURE COMMITTEE.

1. That, in view of the present confusion concerning the exact meaning of many technical terms used in soil physics, and the correct translation of these terms from one language into another, a Committee on nomenclature be set up by the first Commission.

2. That this Committee be instructed to prepare a lexicon of technical terms used in soil physics, initially in the English, French, German, and Russian languages, and to make proposals concerning the exact meaning which should be attached to these terms.

3. That the Committee have power to co-opt members subject to the consent of the President of the Commission and that membership need not be confined to specialists in soil science.

4. That the Committee be instructed to issue a preliminary report for discussion by the Commission in Oxford at the 1935 Congress.

5. That the first Commission shall invite the attention of each of the other Commissions of the Society to the need for such nomenclature Committees, and shall recommend that they be set up to work in co-operation with each other.

6. That the following gentlemen be asked to form the nucleus of the first Commission nomenclature Committee :

M. Bourdelle (France);
M. Diserens (Switzerland);
M. de Waele (Great Britain) - (Representing the Society of Rheology);
M. G. W. Scott-Blair (Great Britain), Chairman;
M. Giesecke (Germany);
M. Vilensky (Russia);
M. Marchesi (Spain).

IV

COMITÉ DE NOMENCLATURE DE LA PREMIÈRE COMMISSION.

La première Commission propose :

1. La formation d'un Comité chargé de remédier à la confusion existant quant à la signification des termes employés en physique du sol, et d'assurer leur traduction en différentes langues.

2 Ce comité serait chargé de l'établissement d'un dictionnaire technique contenant la traduction exacte des termes employés dans les langues suivantes : anglais, français, allemand, russe, par les physiciens du sol. Cette traduction pourrait s'étendre ultérieurement à d'autres langues.

3. Ce Comité pourrait s'adjoindre d'autres membres avec l'autorisation du Président de la Commission, ces membres n'étant pas obligatoirement des spécialistes du sol.

. Ce Comité publierait un rapport préliminaire qui serait discuté par la Commission à Oxford, au Congrès de 1935.

5. La première Commission attire l'attention de toutes les autres Commissions de l'Association sur la nécessité des Comités de nomenclature et recommande de mettre tout en œuvre pour une coopération.

6. Les personnalités suivantes seraient désignées pour former le noyau du comité de nomenclature de la première Commission :

M. Bourdelle (France);
M. Diserens (Suisse);
M. de Waele (Angleterre), représentant la Société de Rhéologie;
M. G. W. Scott-Blair (Angleterre), Président;
M. Giesecke (Allemagne);
M. Vilensky (Russie);
M. Marchesi (Espagne).

IV

BESCHLÜSSE DER I KOMMISSION ÜBER DIE EINSETZUNG EINES AUSSCHUSSES FÜR DIE BENENNUNG DER PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN DES BODENS.

1. Da zur Zeit in den Fachausdrücken der Boden-Physiq noch eine grosse Verwirrung herrscht und deren Übersetzung aus einer Sprache in die andere häufig zu Missverständnissen führt, wird von der I Kommission ein Ausschuss für die Benennung physikalischen Eigenschaften des Bodens eingesetzt.

2. Der Auschuss hat die Aufgabe, ein Wörterbuch für die Ausdrücke auszuarbeiten, die in der physikalischen Bodenkunde benutzt werden, und zwar zunächst in der englischen, französischen, deutschen, und russischen Sprache. Auch hat er Vorschläge für die Begriffsbestimmung der einzelnen Fachausdrücke zu machen.

3. Der Ausschuss kann in Einverständniss mit dem Kommissionsvorsitzenden weitere Mitglieder berufen. Die Mitgleider brauchen nicht auschliesslich Vertreter der Bodenkunde zu sein.

4. Der Ausschuss hat der Kommission auf dem Kongress in Oxford im Jahre 1935 einen vorläufigen Bericht zur Beratung vorzulegen.

5. Die I Kommission soll die übrigen Kommission der Gesellschaft auf die Notwendigkeit hinweisen, Ausschüsse für die Benennung der Eigenschaften des Bodens in ihrem Arbeitsgebiet einzusetzen und sie zu gegenseitigen Mitarbeit einladen.

6. Zunächst werden folgende Herren in den Ausschuss berufen :

Herr Bourdelle (Frankreich);
Herr Diserens (Schweitz);
Herr de Waele (England), Vertreter der rheologischen Gesellschaft;
Herr Scott-Blair (England), Vorsitzende;
Herr Giesecke (Deutschland);
Herr Vilensky (Russland);
Herr Marchesi (Spanien).

HYGROSKOPIZITÄT.

Die erste Kommission empfiehlt den Mitgliedern der Gesellschaft, vergleichende Hygroskopizitätsbestimmungen auszuführen :

1. An zwei Bodenproben, die von Herrn Generalsekretär Dr. D. J. Hissink in Groningen, Holland, bezogen werden können.

2. An zwei Bodenproben, die vom Vorsitzenden der ersten Kommission, Herrn G. W. Robinson in Bangor, North Wales, England, zu erhalten sind.

3. An örtlichen Böden.

HYGROSCOPICITY.

The First Commission recommends the members of the Society to carry out parallel hygroscopicity determinations.

1. On two soil samples to be obtained from the General Secretary, Dr. D. J. Hissink, Groningen, Holland.

2. On two soil samples to be obtained from the president of the Commission, G. W. Robinson, Bangor, N. Wales, Gt. Britain.

3. On local soils.

HYGROSCOPICITÉ.

La première Commission demande aux membres de l'Association d'effectuer des mesures d'hygroscopicité :

1. Sur deux échantillons de sol fournis par le Secrétaire général : Dr. D. J. Hissink, Groningen (Hollande).

2. Sur deux échantillons de sol fournis par le Président de la première Commission, G. W. Robinson, Bangor, N. Wales, Gt. Britain.

3. Sur des sols locaux.

ANNEXE.

DISCOURS ET ALLOCUTIONS.

OUVERTURE OFFICIELLE : 2 JUILLET 1934.

M. PRÉAUD,

Représentant du Ministre.

MESDAMES, MESSIEURS,

Avant l'ouverture officielle de la Conférence, j'ai l'honneur et le très agréable devoir —au nom de M. le Ministre de l'Agriculture — de saluer toutes les personnalités du monde scientifique qui participent à cette session et, plus particulièrement, de souhaiter une déférente et cordiale bienvenue à MM. les Délégués étrangers.

Je vous exprime les regrets de M. le Ministre QUEUILLE, retenue au dernier moment par une délibération parlementaire. Il aurait été heureux de vous apporter un témoignage d'attention et de sympathie de la part du Gouvernement français et de saluer personnellement parmi vous les éminents dirigeants de cette Conférence.

Laissez-moi du moins saluer de sa part :

Sir John RUSSEL, Président de l'Association internationale de la Science du sol;

M. le D[r] HISSINK, Président adjoint de l'Association internationale de la Science du sol;

M. ROBINSON, Président de la I[re] Commission, qui tient ici plus spécialement ses assises.

Vous m'en voudriez si je ne citais pas avec eux le représentant de la Section française, M. l'Inspecteur général DEMOLON, dont la haute autorité s'est dépensée avec tant de dévouement pour l'organisation de la Conférence.

C'est toujours une grande satisfaction pour l'esprit, une joie profonde et sûre, que voir se réunir des représentants de l'élite internationale.

Mais il semble que ce soit surtout dans le monde de la Science que ces rencontres peuvent mettre en jeu les valeurs les plus hautes et les plus désintéressées de la culture universelle. Les savants qui, comme vous, cherchent à bien se connaître afin de se bien comprendre, aboutissent toujours à des conclusions d'estime mutuelle et, le plus souvent même, à des liens de véritable et solide amitié.

Cette collaboration que vous poursuivez dans le monde avec une si remarquable et si féconde persévérance, vous la consacrez à la Science du sol. Permettez-moi, à propos de

cette science qui est vôtre et en songeant à ses développements dans l'espace comme dans le temps, permettez-moi de saluer une fois de plus l'éminente dignité de la recherche scientifique.

Si l'on évoque d'abord l'immense bagage empirique qu'une expérience plusieurs fois millénaire a permis d'accumuler chez tous les peuples agriculteurs, n'est-il pas admirable que la Science du sol puisse réaliser sans cesse de nouvelles acquisitions, en même temps d'ailleurs qu'elle ouvre sans cesse de nouvelles incertitudes ou de nouvelles curiosités qui formeront des champs d'action pour les recherches futures?

D'un autre point de vue, si l'on évoque l'actuel désarroi de toutes les économies et les difficultés qui s'attachent à la production agricole dans tous les pays, n'est-il pas admirable que seule la Science puisse poursuivre au même moment son œuvre sereine et désintéressée, assurant toujours l'impertubable continuité de la course au flambeau?

Laissez-moi, enfin, Messieurs, marquer d'un intérêt plus personnel vos prochains travaux sur la *Physique du sol.*

Il se trouve que le délégué — qui vous parle au nom du Ministre — a, parmi ses attributions, les problèmes d'alimentation en eau, les questions d'irrigations, les projets d'assainissements et de drainage : les ingénieurs du Génie rural sont donc les bénéficiaires immédiats de vos travaux et de vos enseignements dans tout le domaine qui se rapporte à l'analyse physique, à la perméabilité, à la structure des sols, etc.

Après la déférence que je vous devais, j'ai donc aussi à vous exprimer une gratitude plus directe.

Et c'est avec ce double sentiment, Messieurs, qu'en vous souhaitant le meilleur succès dans vos travaux, je déclare ouverte la Conférence internationale sur la Physique du sol.

R. P.

SIR E. J. RUSSEL,

Président de l'Association.

Je vous remercie, M. Préaud, des paroles aimables que vous venez de prononcer, et de votre accueil chaleureux. Vos expressions si charmantes et si sympathiques nous inspireront dans nos délibérations, et elles resteront dans notre mémoire pendant toutes les séances.

Mesdames, Messieurs, en sa qualité de délégué du Ministre, M. Préaud vous a souhaité la bienvenue en France; en ma qualité de Président, je souhaite la bienvenue à nos délibérations. Nous aurons tout à l'heure l'occasion d'exprimer nos remerciements à M. Demolon et à nos collègues français des préparatifs qu'ils ont si bien faits; en ce moment qu'il me suffise de dire que nous sommes tous très heureux de nous retrouver ici à Versailles. C'est toujours un événement dans la vie d'un étranger que de rester quelques jours à Versailles. Que de choses se passèrent ici, depuis le temps où Louis XIV fit bâtir ce palais splendide! Et tout en errant dans ces allées nous songions aux nombreuses grandes figures qui changèrent le courant de la vie humaine. Nous pensions à Louis XIV, roi puissant, et à sa cour magnifique, la plus somptueuse qu'ait jamais conçue l'esprit humain; aux grandes dames; aux hommes d'État; aux écrivains qui créèrent la littérature classique de la France. Nous évoquions même des scènes de terreur : nous nous rappelions une Révolution sanguinaire, les figures pathétiques de Louis XVI et de Marie-Antoinette. Le décor change : nous pensons aujourd'hui à des laboratoires scientifiques fondés pour

arracher à la Nature ses secrets, et pour l'application de la Science aux problèmes de la vie moderne. On voit ici une grande succession de changements et d'événements : le présent qui remonte au passé, le passé qui se prolonge dans le présent.

Mais ce n'est pas pour des raisons purement historiques que nous visitons avec plaisir la France. C'est que nous trouvons ici une culture pleine d'attrait, dans laquelle la science, l'art, la philosophie, les affaires se fondent comme des activités du même ordre, dirigées vers le même but : l'enrichissement de la vie! Pour emprunter une belle phrase d'Anatole France, on trouve ici «la sagesse de la science et la philosophie liée avec l'éternelle adolescence du poète et de l'artiste».

Notre collègue, M. Demolon, m'a demandé de vous donner un aperçu du prochain Congrès à Oxford. La première intention, comme vous vous le rappelez, était d'affréter un bateau et de faire une croisière en Méditerranée afin de visiter une douzaine de pays différents et de voir les sols très intéressants de cette région. Mais les frais en étaient très grands, plus de 5.250 francs par personne; et il fut impossible de trouver une époque à la fois agréable et convenable à tous nos collègues. Le mois d'avril est le plus agréable pour la Méditerranée : pendant les mois de juillet et d'août, il fait trop chaud, et c'est seulement pendant ces mois que nos collègues peuvent assister au Congrès.

Alors nous avons renoncé à cette idée, et nous avons choisi Oxford comme lieu du Congrès. Oxford est une ville universitaire avec plusieurs collèges très anciens, qui remontent aux maisons religieuses du Moyen-Age, et comme celles-ci, vraies maisons où demeurent les étudiants et plusieurs professeurs. Les membres de notre Congrès pourront habiter ces collèges, le Congrès ayant lieu pendant les vacances.

Les collèges les plus anciens conservent encore quelques habitudes monastiques : chose obligatoire; la société doit être exclusivement masculine, les femmes ne peuvent pas y demeurer. Elles peuvent visiter les grandes salles quand les hommes en sont absents, mais elles doivent se comporter modestement, ainsi qu'il convient à la dignité d'une vieille maison scolastique. Heureusement, les collèges de fondation plus moderne se sont débarrassés de telles restrictions, ils n'ont pas de règlements si sévères, et par conséquent les dames peuvent y demeurer.

Oxford est une des plus belles villes et des plus intéressantes en Angleterre. Les jardins d'une beauté ravissante; les vieux bâtiments riches en charme et en dignité, les musées, les bibliothèques forment un ensemble sans pareil, difficile à égaler.

Le Congrès durera neuf jours. Chaque matin se tiendra une session plénière, dont l'ordre du jour sera fixé par les Commissions : chaque Commission peut arranger une session. A chaque session, les conférences seront limitées à quelques sujets d'intérêt général, présentées par deux ou trois savants bien connus, qui parleront avec autorité des progrès réalisés pendant ces dernières années.

Les après-midis seront consacrés aux réunions des Commissions et aux excursions. Les soirées seront remplies de façons différentes : conférences, fêtes, promenades, etc.

Après la Conférence, aura lieu la grande excursion autour de notre île. Le trajet en est : d'Oxford à Shropshire où M. Morley-Davis a fait des recherches intéressantes: puis au pays de Galles, pour voir les sols paléozoïques étudiés si brillamment par notre collègue, G.W. Robinson; puis à Leeds, chez le professeur Comber; ensuite à Billingham, où une grande organisation industrielle, Imperial Chemical Industries, a établi une énorme usine pour la fabrication de l'ammoniaque et des engrais chimiques par des procédés synthétiques; puis à Newcastle, au nord d'Angleterre; puis en Écosse, pour visiter Edimbourg, Glasgow, Aberdeen, où on peut voir la jolie maison où travaille notre aimable confrère le docteur Ogg, et, enfin, retour en Angleterre, en traversant la région agricole de l'Est, où l'on voit des sols excessivement riches, sans oublier Cambridge, ancienne

ville d'Université, la seule belle rivale d'Oxford, Londres, terme du voyage, où nous nous disperserons. Cela paraît devoir être un voyage très intéressant, pas fatigant, qui durera deux ou trois semaines.

Je donne maintenant la parole à notre distingué collègue le docteur Hissink, dont la présence aujourd'hui nous remplit de joie. Comme vous le savez tous, la santé de notre collègue lui a récemment donné quelques soucis. Heureusement, il est maintenant complètement guéri, et nous espérons qu'il n'aura plus de raisons d'inquiétudes.

E. J. Russel.

D[r] D. J. HISSINK,

Président adjoint et Secrétaire général de l'Association.

Monsieur le Délégué du Ministre,

Mesdames, Messieurs,

Je suis très honoré de satisfaire à la demande qui m'a été faite de vous adresser quelques mots à cette séance d'ouverture de la première Commission de l'Association internationale de la Science du sol. D'autant plus que l'année 1934 joue un rôle très particulier dans l'histoire de notre Association. Pour une meilleure compréhension, je commencerai par un très bref résumé de celle-ci.

En avril 1909, des savants appartenant à diverses branches des sciences se réunirent à Budapest pour la première Conférence agrogéologique. Le but principal de cette conférence était d'arriver à l'unification de la terminologie et des méthodes appliquées dans la science du sol. Justement, les questions du sol ont souffert d'une très grande confusion dans la terminologie et dans les méthodes au commencement de ce siècle, en grande partie, parce qu'il n'y avait pas encore de science du sol proprement dite, d'où résultait que nombre d'autres sciences comme la chimie, la chimie colloïdale, la minéralogie, la géologie, l'agronomie, considéraient les problèmes concernant le sol chacune de leur propre point de vue.

Dès 1910, une seconde conférence agrogéologique se tenait à Stockholm. Les années 1910 à 1914 ont été marquées par une intense activité internationale dans la science du sol. L'explosion de la guerre mondiale, en 1914, interrompit, hélas, les relations internationales; seul, le journal fondé en 1911 continua de paraître, grâce aux soins infatigables de son rédacteur, le professeur D[r] F. Schucht, à Berlin.

Sur l'initiative de Kopecky, Schucht et Hissink, la troisième conférence internationale agrogéologique eut lieu à Prague, en 1922; elle fut suivie, en 1924, par la quatrième conférence internationale, à Rome.

A la fin de cette quatrième conférence, le lundi 19 mai 1924, l'Association internationale de la Science du sol fut fondée.

La jeune Association tint son premier congrès à Washington, en 1927, son second à Leningrad-Moscou, en 1930, et elle se propose de tenir son troisième congrès à Oxford, l'année prochaine, en 1935, sous la présidence de notre membre d'honneur, Sir John Russel, son président actuel.

Déjà, lors de la seconde conférence à Stockholm, on constitua trois Commissions pour étudier des questions diverses. Ce nombre s'est augmenté peu à peu, de sorte que

notre Association compte à présent six commissions internationales avec un certain nombre de sous-commissions. Le but de ces commissions est d'étudier les questions en suspens au moyen de consultations internationales et de faire aux congrès les propositions utiles en vue de leur solution. En prévision du troisième congrès (Oxford 1935) des réunions de ces commissions ont déjà eu lieu : premièrement, en 1932, à Groningue de la sixième (application de la pédologie au génie rural) sous la présidence de M. Otto Fauser, Stuttgart; en 1933, à Copenhague, des 2ᵉ, 3ᵉ et 4ᵉ Commissions, c'est-à-dire de la Commission de la Chimie du sol, sous la présidence du professeur von' Sigmond, Budapest; de la Commission de la Bactériologie du sol, sous la présidence du professeur Waksman (États-Unis); de la Commission des Recherches sur la fertilité du sol, sous la présidence du professeur Prjanischnikow, de Moscou. Aujourd'hui, la première Commission internationale, qui s'occupe de l'étude des questions physiques du sol, se réunit ici, à Versailles, sous la présidence du professeur docteur Robinson, Bangor, Wales, tandis que la Commission de nomenclature, classification et cartographie des sols a l'intention de se réunir plus tard, sous la présidence de ses présidents, MM. Marbut, de Washington; Stremme, de Dantzig, et del Villar, de Madrid.

Ce court résumé montre donc qu'il y a maintenant vingt-cinq ans que la première Conférence internationale agrogéologique a été tenue, à Budapest, en 1909, et qu'il y a dix ans que l'Association internationale de la Science du sol a été fondée à Rome, en 1924.

Je suis heureux de pouvoir vous montrer ici une photographie des participants de la première Conférence de Budapest. Hélas, la plus grande partie de ces collègues sont déjà morts; j'en vois encore quelques-uns qui sont toujours en vie et font partie de notre Association, entre autres : Schucht, von' Sigmond, Treitz, Björlykke, Miklaszewski.

Ces deux événements conduisent évidemment à se poser les questions suivantes : d'abord, quel a été le progrès de la Science du sol pendant cette période de vingt-cinq ans et ensuite quels ont été les résultats obtenus depuis sa fondation, en 1924.

Jetons d'abord un regard sur la période d'avant 1909, nous constatons qu'au commencement du vingtième siècle, ce n'est qu'avec hésitation qu'on parle d'une science du sol proprement dite. Maintenant, vingt-cinq ans après, tout est changé et la jeune science du sol occupe actuellement une place d'honneur parmi ses sœurs aînées.

Si, à travers l'ensemble des actes et publications de notre Association, nous analysons de plus près les progrès de notre science depuis 1909, nous constatons les faits suivants :

Bon nombre de notions pédologiques étaient déjà connues au commencement de ce siècle. On savait, pour citer quelques exemples, que les sols différaient en compacité, c'est-à-dire que l'un contenait plus d'argile que l'autre; ensuite, que les sols différaient en acidité, que l'un avait une réaction acide, l'autre une réaction alcaline; que le degré de saturation des différents sols vis-à-vis des bases pouvait être fort différent; que l'un était perméable et l'autre presque imperméable à l'eau, etc. Des études très importantes sur ces sujets et sur beaucoup d'autres ont été publiées à la fin du XIXᵉ et au commencement du XXᵉ siècle. Ici, je pense tout particulièrement aux communications importantes de Déhérain et de Schloesing fils, parues dans les *Annales agronomiques*, et qui constituent les fondements de l'édifice majestueux de la science française du sol, dont nous allons, ici même, avoir l'occasion de faire la connaissance du moins en ce qui concerne un chapitre important.

Cependant, ces notions pédologiques déjà connues manquaient dans la plupart des cas d'une expression exacte et mathématique exprimée numériquement. En résumé, sur le terrain de la science du sol, il me semble que le principal progrès depuis le commencement de ce siècle a été d'arriver à exprimer plusieurs de ces notions d'une manière

quantitative, c'est-à-dire de les exprimer en chiffres. Pour ne citer que deux exemples très frappants, je rappellerais l'acidité du sol, qui trouve maintenant son expression exacte dans le chiffre pH, et la perméabilité du sol qui peut être mesurée par la méthode de Darcy.

Le fait que nous n'avons fait que de très modestes pas dans ce sens est imputable à ce que le sol est un objet d'étude extrêmement compliqué. Le célèbre physicien néerlandais Lorentz remarqua un jour qu'il ne comprenait pas que nous pédologues puissions déterminer un objet d'étude aussi compliqué que le sol, étant données les grandes difficultés qu'éprouvaient déjà les physiciens en déterminant les qualités de la matière pure.

Nous nous trouvons maintenant de nouveau au point de départ d'une nouvelle étape. A notre prochaine assemblée des discussions importantes sur la structure du sol s'engageront amenées par les communications de nos collègues russes, en particulier par les communications de Jarilov, Vilensky et Sokolowski. Ici aussi, le but est de tâcher d'exprimer en chiffres ce qu'on nomme jusqu'ici — en termes vagues — la structure du sol.

Pour l'expression numérique des qualités du sol, il faut des méthodes de recherche. Par la force même des choses, chaque investigateur, qui a obtenu quelques résultats dans le domaine de ses recherches, commence par avoir sa propre méthode de travail. Mais bientôt se fait sentir le besoin mutuel de comparer les résultats obtenus, ce qui amène *ipso facto* la comparaison des méthodes appliquées. La nécessité de collaboration s'impose ainsi aux différents Instituts, pour arriver à fixer des méthodes de recherche internationales. Déjà, à la première conférence internationale, à Budapest, et à celle de Stockholm, on s'est orienté vers ce but, mais après la création de l'Association internationale de la Science du sol, à Rome, en 1924, on s'est occupé d'une façon plus énergique et plus systématique d'organiser la collaboration internationale en matière de recherches sur le sol.

Quant aux résultats obtenus, je mentionnerai les instructions pour la détermination du pH, donnés par le Comité pH et aussi, surtout les travaux, faits par la première Commission pendant la célèbre assemblée, tenue à Rothamsted, en 1926, sous la présidence du professeur Novak de Brno, où les règles de l'analyse mécanique du sol ont été déterminées.

Ceux qui estiment ce qui précède, comme étant un résultat encore trop minime des dix années de travail de notre Association, n'ont qu'à se rendre compte des difficultés qu'on rencontre en déterminant les principes internationaux de la recherche méthodique. En matière d'organisation internationale du travail intellectuel, notre Association a sans doute fait depuis sa création un travail méritoire, et à cet égard je ne doute pas qu'elle continue à remplir dignement sa tâche dans l'avenir.

Par ailleurs, puis-je enfin faire allusion aux résultats de notre collaboration internationale qui comportent un caractère plus général. Par cette collaboration et tout particulièrement par les Assemblées internationales, comme celle que nous tenons en ce moment, les savants, les penseurs et les écrivains de tous les pays ont l'occasion de se connaître et d'échanger leurs opinions. De cette manière, par des rapports fréquents entre collègues de différentes nations, les idées qui doivent assurer la paix entre les peuples sont propagées d'un pays à l'autre.

Mesdames, Messieurs, à cet égard aussi, cette assemblée de la première Commission de notre Association fait appel à la puissante collaboration de vous tous pour atteindre ce but sublime. Vous me répondrez peut-être que le chemin à faire sera long et difficile. Je l'admets volontiers; mais ne devons-nous pas toujours nous inspirer de l'idée que la plus grande gloire est de semer pour l'avenir? Car en effet, quoi de plus sublime pour l'homme que de préparer les choses dont il ne verra p   la réalisation.

Monsieur le délégué du Ministre, Messieurs les membres de l'Association internationale de la Science du sol, nous sommes très reconnaissants à nos collègues français et en particulier à notre membre de la Présidence générale, le docteur Demolon, de s'être donné la peine d'organiser cette Assemblée de la première Commission. J'ai la conviction intime que cette conférence, tout en augmentant nos connaissances dans le domaine de la physique du sol, constituera pour notre prochain Congrès une préparation des plus fécondes.

PROF. G. W. ROBINSON,

Président de la Première Commission.

Nous assistons aujourd'hui à la première réunion, tenue en France, sous l'égide de l'Association internationale de la Science du sol. Je considère comme un grand honneur que cette première réunion soit celle de la Commission dont je suis Président.

Il est très juste qu'une Conférence ayant pour but l'étude du sol se tienne dans la patrie de *Boussingault* qui, le premier, appliqua la chimie moderne, la chimie de Lavoisier, à l'étude des problèmes de la fertilité du sol, la patrie de Pasteur, dont les idées ont donné l'impulsion à l'étude de la microbiologie du sol, la patrie de *Schloesing*, dont les travaux ont joué un rôle si important dans le développement de nos idées sur la constitution du sol, la patrie de *Grandeau*, de *Muntz* et de *Déhérain*, qui ont jeté les bases de l'étude de la matière organique du sol. La contribution de la France à la Science du sol a été très marquante dans le passé. Les travaux en cours actuellement permettent d'espérer que sa contribution sera aussi importante dans l'avenir.

L'activité de notre Commission se borne à une seule branche de l'étude des sols, c'est-à-dire la physique du sol; et je me permettrai de vous signaler l'importance de cette branche, non seulement pour l'étude philosophique du sol, mais aussi pour l'agriculture pratique, aspect important de l'activité humaine à laquelle nos études doivent contribuer.

La pédologie, ou étude des sols, a pour objet l'origine, la constitution et la classification des sols. De certains points de vue, notamment pour l'étude des sols dans leurs conditions naturelles, les méthodes descriptives et qualitatives sont admissibles. Les résultats obtenus par les grands pédologues russes sont, pour la plupart, de ce genre. Mais pour assurer des bases sûres à la classification rationnelle des sols, il faut employer des méthodes quantitatives et exactes. Les méthodes analytiques employées jusqu'ici ont été chimiques pour la plupart, mais il est évident que pour l'étude des sols en tant qu'individus, il faut tenir compte de leurs propriétés physiques, notamment celles qui concernent l'humidité du sol et les mouvements de substances déterminant le développement.

Je ne peux qu'effleurer ici l'importance de la physique pour l'étude philosophique du sol. Je pense surtout à l'application des études physiques aux problèmes de la pratique. Les beaux laboratoires et les champs d'expériences qui nous entourent à Versailles prouvent que l'esprit philosophique a pour fin la solution des problèmes concernant le travail du cultivateur. Nous aussi, membres de la première Commission, cherchons, par l'application des méthodes philosophiques, à apporter une aide efficace aux problèmes de l'agriculture pratique.

Quoique les grands maîtres comme Schloesing, Ramann, Hilgard et Warington n'aient pas négligé la physique du sol, les premiers travaux de la science du sol concernaient, pour la plupart, les problèmes chimiques. Aujourd'hui encore, cette science se trouve

incluse dans les programmes de nos collègues, comme une branche de la chimie agricole.

Mais il est évident que les problèmes de la fertilité du sol sont tout autant physiques que chimiques. Je n'insisterai que sur l'importance de l'humidité, de la température et des propriétés physiques qui déterminent le comportement des sols soumis au labour.

Les rapports du sol avec l'humidité sont primordiaux pour sa fertilité; il est indubitable que la fertilité d'un sol considéré isolément dépend actuellement davantage de ces rapports que de sa composition chimique. Les sols qui manifestent ces rapports à l'optimum ont été découverts dans le passé. Ils sont cultivés pour la plupart par les meilleurs cultivateurs et sont, par conséquent, enrichis au maximum. Le but de nos études sur les rapports du sol avec l'humidité est de constater les conditions optima pour la croissance des plantes et de découvrir les moyens susceptibles d'améliorer ces rapports lorsqu'ils sont inférieurs aux conditions optima. Nos études apportent une contribution directe aux pratiques de l'irrigation et du drainage, ainsi qu'à l'influence des procédés de culture sur l'humidité du sol.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur l'importance de la température du sol. Il est évident que le choix des cultures dans une région dépend surtout de ce facteur. Dans une même région, de faibles variations dans la réponse du sol à la chaleur suffisent pour rendre possible ou non la croissance de récoltes spéciales. C'est surtout en horticulture que la température du sol joue un rôle décisif.

La plasticité et la cohésion, propriétés du sol qui exercent une influence directe sur sa culture, sont intimement liées avec l'étude de l'humidité, vu qu'elles ne se développent qu'en présence de l'humidité. L'établissement des méthodes rationnelles, y compris l'application de la puissance mécanique à la culture, demande la plus parfaite connaissance des propriétés en question.

Bref, la rationalisation des méthodes de culture et d'aménagement du sol, le développement de méthodes nouvelles marcheront *pari passu* avec les progrès réalisés dans l'étude des propriétés physiques du sol.

Je passe maintenant aux travaux de cette Conférence de la première Commission. Si je ne me trompe, les besognes immédiates qui se présentent sont :

1° L'étude des propriétés physiques du sol concernant la croissance des plantes;

2° L'institution et l'exécution des travaux coopératifs destinés à l'établissement de méthodes pour l'expression quantitative de ces propriétés.

Notre progrès ne peut être aussi rapide que nous le voulons, étant donné les difficultés considérables qui entourent l'étude de la physique du sol. Le sol n'est pas un système statique, mais décidément dynamique. L'étude du sol, comme système dynamique, nous oblige à tenir compte du fait que les propriétés qui nous intéressent se modifient perpétuellement. Pour préciser une propriété quelconque, il faut étudier la manière dont elle varie, afin de constater les conditions dans lesquelles elle doit être mesurée.

Ajoutez à la variation dans les propriétés d'un sol isolé l'immense variation entre les divers types de sol. En essayant de perfectionner les méthodes d'analyse mécanique, nous avons trouvé que des méthodes, tout à fait satisfaisantes pour la plupart des sols, ne peuvent être utilisées pour d'autres. Il faut donc tenir compte de toutes les variétés des sols que nous pouvons rencontrer.

Je ferai remarquer également que l'étude de la physique du sol comporte une autre omplication. Pour que nos travaux apportent une contribution à la pratique agricole,

il faut que notre objet de travail soit le profil du sol au champ et non pas seulement l'échantillon du laboratoire. Les problèmes concernant l'humidité, la température et les autres propriétés physiques du sol se posent au cultivateur dans les champs. Bien que ceci soit très difficile, il faut que nous poursuivions nos études aux champs mêmes.

Je dirai maintenant quelques mots sur le programme de notre réunion. Le premier but de nos travaux dans le passé a été l'élaboration de méthodes, pour l'analyse mécanique du sol; et j'espère que, comme suite aux travaux de cette Conférence, il sera possible d'arriver à un accord sur cette question. Nous nous occupons surtout du problème de la dispersion pour l'analyse mécanique; nombre de rapports traitent de cette question. L'autre aspect de l'analyse mécanique, le groupement des particules, fera l'objet du rapport de M. le docteur Vaclav Novak, ancien Président de notre Commission.

L'analyse mécanique nous donne la composition élémentaire du sol, mais pour connaître le comportement actuel du sol, il faut tenir compte de sa structure, de la manière dont les particules élémentaires s'agrègent en particules ou éléments complexes. Cette structure est essentiellement dynamique et peut se modifier à la suite des procédés de culture et des variations de l'humidité. Elle exerce une influence profonde sur l'aération du sol et, par conséquent, sur la croissance des plantes. En outre, cette propriété a une valeur diagnostique considérable pour l'étude des processus pédogéniques et de la classification des sols.

Le problème de la structure des sols a été énergiquement attaqué pendant ces dernières années et nous n'exagérerons pas son importance en consacrant une séance à sa discussion, dans l'espoir d'arriver à des recommandations définitives. J'ai déjà souligné l'importance des rapports du sol avec l'humidité; quelques rapports très intéressants traitent de cette question. Nous avez remarqué sans doute que certaines propriétés du sol, y compris ses rapports avec l'humidité, sont intimement liées avec ses propriétés colloïdales. Plusieurs savants ont cherché un moyen d'exprimer toutes ces propriétés par une valeur unique (*single value*). Ce problème sera discuté dans la séance que nous consacrerons à l'humidité du sol. J'espère qu'il sera possible de formuler des conclusions et des recommandations définitives.

Pour ce qui concerne la température des sols, trois rapports y sont consacrés. M. Geslin nous a donné une mise au point et j'espère qu'il sera possible, comme résultats de nos discussions, d'organiser des travaux en coopération pour l'avenir.

Parmi les autres questions dont nous nous occuperons figure la couleur des sols. L'intérêt de cette question n'est pas purement théorique, parce que la couleur du sol exerce une influence importante sur ses rapports avec la chaleur et parce que la couleur possède une valeur diagnostique pour les études pédogéniques.

Mesdames et Messieurs, dans le peu de temps dont j'ai disposé, j'ai essayé d'exposer l'importance et aussi les difficultés de nos travaux. Notre réunion a commencé sous les auspices les plus heureux et, pour terminer, je me permets de remercier bien cordialement nos collègues français pour la collaboration vivante qu'ils ont apportée à nos travaux préliminaires et pour les dispositions qu'ils ont prises pour notre bien-être à Versailles. Leurs efforts ont assuré le succès de notre réunion dont je n'ai jamais douté.

ALLOCUTION

DU

PROF. YARILOV,

Vice-Président de l'Association.

MONSIEUR LE MINISTRE, MESDAMES, MESSIEURS,

Au nom de la Section soviétique de l'Association internationale de la Science du Sol, j'exprime sa profonde reconnaissance pour l'aimable accueil réservé à notre 1[re] Commission. Un lien étroit existe entre le travail de cette Commission et les progrès à venir de l'agriculture : mécanisation, améliorations, etc., qui sont d'une importance capitale pour l'œuvre constructive et organisatrice de l'agriculture dans le pays des Soviets. Nous espérons que les rapports se développant entre nos deux pays, les relations scientifiques également deviendront de plus en plus étroites dans le domaine de la pédologie comme de l'agriculture en général.

Ce n'est pas seulement dans le passé — nous avons déjà rappelé ici l'importance des travaux de Boussingault, — mais aussi dans le présent, que la science, en général, est de beaucoup redevable aux recherches des savants français. Cela a été mis en lumière tout récemment, lors de la décade franco-russe en U. R. S. S. à laquelle des savants français éminents, professeurs et membres de l'Académie, ont pris part (Perrin, Hadamar, Cellerier, Regaud, Jacob, Lemoigne).

Notre Association touche à la dixième année de son existence. Dans ce laps de temps, elle a accompli un travail scientifique et organisateur considérable; et nous ne pouvons pas, un jour comme celui-ci, ne pas mentionner avec la plus vive reconnaissance le rôle et le travail des Directeurs de la 1[re] Commission, les professeurs Novàk, Robinson et du Comité français d'organisation de la présente Conférence ainsi que de son président, M. le professeur Demolon.

De la part des pédologues de l'U. R. S. S., je présente nos respectueux hommages à Sir John Russell, l'honoré président de notre Association et à notre directeur inamovible, le docteur Hissink avec les meilleurs vœux pour un travail fructueux de la Conférence actuelle, dernière Conférence préparatoire du III[e] Congrès de l'Association.

ALLOCUTION

DU

D[r] VACLAV NOVÀK,

Président d'honneur de la Première Commission.

MESDAMES, MESSIEURS,

J'ai l'honneur de saluer, au nom de la délégation tchécoslovaque, la Conférence de la 1[re] Commission internationale pour la physique et la mécanique du sol. Je lui apporte également les souhaits de succès de l'Académie tchécoslovaque d'Agriculture et de l'Union des Institutions de Recherches agronomiques et forestières de Tchécoslovaquie. En tant que président de cette Union, je dois ajouter que notre délégation apportera aux travaux de la Conférence sa collaboration la plus entière.

En ma qualité d'ancien président de la 1re Commission, je suis heureux que la Conférence de cette année se réunisse à Versailles. La science française a, en effet, fourni une importante contribution aux progrès de la connaissance du sol. Notamment en ce qui concerne la physique, l'analyse mécanique, l'étude de l'argile, de l'humus; je dois rappeler ici les noms de Grandeau, Schlœsing père, Schlœsing fils, Dehérain; leurs travaux ont enrichi considérablement nos connaissances dans le domaine de la physique du sol. C'est pour nous une très grande satisfaction de constater qu'en France, les recherches concernant le sol sont de plus en plus, depuis ces dernières années, en harmonie avec le développement international de la pédologie cela est sans aucun doute le résultat de l'impulsion que leur a donnée notre bon ami M. Demolon, rédacteur en chef des *Annales Agronomiques.*

Je crois inutile d'assurer le Comité d'organisation de la Conférence que mes collègues et moi-même nous nous sentons en France comme dans notre patrie même. Je suis certain que notre réunion aura les heureux résultats que je lui souhaite au nom de la délégation tchécoslovaque.

ALLOCUTION

DU

PROF. Dr F. SCHUCHT.

HERR MINISTER, MEINE DAMEN UND HERREN!

Ich habe die Ehre, im Namen der hier anwesenden Deutschen den herzlichsten Dank auszusprechen für die freundliche und gastliche Aufnahme, die wir hier gefunden haben. Ich hätte dem gern, wie meine Vorredner, auch in französischer Sprache Ausdruck gegeben, wenn ich dieselbe besser beherrschte.

Meine Damen und Herren, ich will ganz offen und ehrlich zu Ihnen sprechen, denn «Professor» sein, heisst ja, sich zur Wahrheit zu bekennen. Wenn wir Deutschen über die Grenze zu Ihnen kommen, so bringen wir zosusagen eine gewisse Empfindlichkeit mit insofern, als wir befürchten zu müssen glauben, dass wir als nicht gern gesehene Gäste zu Ihnen kommen könnten. Denn wir alle wissen ja, dass die Spannungen, die sich aus dem Weltkriege herleiten, noch nicht ganz ausgeglichen sind.

Ich stehe nun nicht an, zu erklären, dass wir hier in ritterlich vornehmer und freundlicher Weise aufgenommen sind, und dass wir dies mit Dank anerkennen.

Als Teilnehmer am Weltkriege, der von französischen Kugeln verwundet wurde, gestehe ich Ihnen ganz offen, dass wir im Kriege die Hochachtung vor unserem Gegner niemals verloren haben, wie wir auch in Friedenszeiten allen jenen grossen Männern Franckreichs die das Licht ihrer Wissenschaft über die Wölker der Erde strahlen liessen, unsere grosse Anerkennung niemals versagsen. Und so glaube ich denn, dass sich auf dem Boden gegenseitiger Achtung eine Plattform finden lässt, auf der eine gemeinsame wissenschaftliche Arbeit im Dienste der Völker möglich ist, und von der aus sich auch Brücken des gegenseitigen Verstehens aufbauen lassen.

Möge diese Konferenz, die so vorzüglich organisiert ist, und mit deren Leiter, Herrn Dr. Demolon, mich seit langem eine erspriefslicht Zusammenarbeit bei der Redaktion unserer Zeitschrift verbindet, zu einem guten Erfolge führen. Das ist der Wunsch, den ich mit nochmaligem Dank für die gastliche Aufnahme hier zum Ausdruck bringen möchte.

Ont également pris la parole :

MMrs. PRESCOTT (Australie), MARCHESI (Espagne), DISERENS (Suisse).

SAINT-GERMAIN-EN-LAYE, LE 4 JUILLET 1934.

M. RAYMOND BEER,

Président du Comité de réception.

Mesdames,

Messieurs,

Un des objets que se propose la Science du sol est sans doute la mesure des facteurs qui permettent d'en définir les diverses propriétés. Vous permettrez à un profane d'ajouter, aux paramètres qui vous sont familiers, celui qui caractérise le mieux le succès grandissant de votre Association, à savoir le nombre total des participants et des sympathisants de vos réunions, qui est égal, par définition, à celui des convives de ce banquet.

Encore dois-je souligner que nous avons eu l'honneur d'accueillir les seuls représentants de la première section, celle de la Physique du sol, de l'Association Internationale qui en comporte six.

Votre empressement prélude au succès du Congrès quinquennal que vous tiendrez, l'an prochain, à Oxford et auquel votre éminent Président, Sir Russell, vous a, lundi, conviés, en vous faisant entrevoir les charmantes réceptions qui vous seraient réservées en Grande-Bretagne.

L'attrait de vos Congrès réside-t-il donc dans vos seules communications, dont l'austérité ne saurait cependant attirer que le petit nombre de spécialistes aptes à les saisir et à mesurer l'étendue de leurs applications possibles?

Il me semble que l'intérêt de ces réunions, au delà des travaux dont les savants que vous êtes auraient tôt ou tard connaissance, est, surtout, le contact intime et cordial qui s'établit, d'abord, entre personnalités de toutes nations, puis entre savants, praticiens et industriels.

Vos recherches, Messieurs, constituent le fondement solide sur lequel peut et doit s'appuyer aujourd'hui l'expérimentation rationnelle de l'agriculture, qu'il s'agisse de la préparation, du traitement, de l'utilisation ou de l'amélioration des sols. Quels profits ne peuvent pas retirer, des rapprochements avec les savants, toutes les industries dont le sol est, en définitive, le client, comme celles des engrais, des semences, de l'outillage agricole, ou même les industries alimentaires.

A notre époque, où l'évolution des sciences est si rapide et influe si promptement sur les procédés industriels, où les besoins et les habitudes des populations se révèlent si changeants, où l'instabilité domine notre vie matérielle, il n'est pas indifférent, à ceux qui ont charge de prévoir, d'être, grâce à vous, au poste d'écoute qui leur permet de pressentir l'orientation de demain.

Car, Messieurs, vos idées, vos opinions, influencées par vos recherches d'aujourd'hui, seront, demain, répandues, vulgarisées, quelquefois déformées, et auront sur l'évolution de certaines industries une influence peut-être plus rapide que vous l'eussiez cru, plus profonde, parfois, que vous l'eussiez souhaité. Peut-être vous faudra-t-il même modérer le zèle de certains interprètes excessifs de votre pensée.

Vous auriez peine à croire les modifications profondes que la diffusion des idées nouvelles sur la Science du sol ont apporté, au cours des dernières années, dans la consommation relative des différents engrais.

Les qualités d'acidité, de basicité ou de neutralité, la nature des associations d'éléments fertilisants, l'action physique des constituants sur les sols, la forme même de la présentation, et tant d'autres facteurs qui dérivent de vos études ont été les aliments de controverses scientifiques, puis de polémiques qui ont parfois dépassé le but, mais qui ont bouleversé l'industrie des engrais.

Ne soyez donc point surpris que l'industriel, à la recherche d'un équilibre, vous écoute avec l'attention, sinon avec la crainte, d'un Sisyphe.

Car vous êtes, Messieurs les Savants, des hommes redoutables, et vous n'avez peut-être pas apprécié la mansuétude que les gouvernements apportent à vous accueillir. Ne dit-on pas, en effet, que vous êtes les grands responsables du trouble universel qu'on a coutume d'appeler improprement la crise?

La surproduction des denrées agricoles, qui paraît à l'origine des effondrements de prix, générateurs de ceux des monnaies, ne serait-elle pas due au progrès même des méthodes culturales, appuyées sur l'expérimentation scientifique?

C'est là le sujet de controverses dont la discussion m'entraînerait bien loin.

Je préfère vous dire que, pour ma part, je n'en crois rien et qu'il serait vain de prétendre limiter la faculté de penser des meilleurs cerveaux; le progrès scientifique n'est pas coupable; il serait plus juste de dire que l'homme en a fait un usage imparfait et que les gouvernements, aux prises avec les difficultés que présente la liquidation de vingt années d'excès de toute sorte, ne lui ont pas permis de jouer son rôle de régulateur naturel.

Notre foi dans l'avenir de la science ne doit pas être diminuée et vous pouvez, Messieurs, en toute sérénité et sans le moindre scrupule de conscience, poursuivre votre effort, dont le grand géologue, Pierre Termier, a pu dire qu'il était l'une des causes de joie des hommes, «la joie de connaître avant les autres, de les précéder dans la connaissance, la joie de constater des phénomènes jusqu'à ce jour inaperçus, ou de trouver des rapports nouveaux entre des faits qui paraissaient sans liaison et qui, désormais enchaînés, s'expliqueront les uns par les autres, la joie de deviner et d'édicter quelque loi naturelle, la joie d'ajouter une vérité, une part quelconque, fût-elle infime, de la grande vérité, au trésor si laborieusement amassé, des siècles durant, par la pensée humaine : la joie de connaître».

Prirent ensuite la parole : les Présidents Sir E. J. Russell, D. J. Hissink et G.W. Robinson.

M. R. PRÉAUD.

Délégué du Ministre de l'Agriculture.

Mesdames,

Messieurs,

Faut-il m'excuser de rompre le charme? Il est bien difficile de prendre la parole après un orateur aussi spirituellement enjoué que M. Robinson... Si j'ai encore une fois le privilège de me trouver parmi vous, c'est avec l'agréable mission de vous apporter, une fois de plus, le très cordial salut du Gouvernement français.

Je regrette beaucoup que M. le Ministre Queuille n'ait pas pu venir lui-même ce soir. Lorsque je l'ai quitté tout à l'heure, il lui restait encore de nombreuses obligations à remplir et cela prouve, pour qui pourrait l'ignorer, qu'un Ministre est un personnage très occupé. Si je déplore son absence, c'est d'abord pour vous tous, Mesdames et Messieurs, mais c'est aussi pour lui-même, car M. Queuille est de formation scientifique et il aurait eu ce soir un vif plaisir à échanger d'amicales paroles avec les savants qui représentent la Science du sol à travers le monde.

Messieurs, vos travaux vont se terminer demain. Avant que vous vous dispersiez, vous plaît-il d'évoquer quelques-uns des aspects extérieurs de cette Conférence et le soin qu'en a pris le groupe national chargé de l'organiser?

Il y a d'abord et essentiellement l'œuvre des hommes. Vos applaudissements de tout à l'heure me permettent de souligner à mon tour ce que M. l'Inspecteur général Demolon et ses collaborateurs ont si bien préparé, avec autant de bonne grâce que d'autorité. Quant au Comité de réception, dont nous sommes les hôtes ce soir, je demande à lui faire mes compliments d'invité, en remerciant M. R. Berr et son actif collaborateur M. Lenglen.

Il y a ensuite le cadre des travaux journaliers. Avez-vous été satisfaits de l'endroit choisi? Ce «centre de Versailles», n'est-ce point une sorte de carrefour symbolique, à la limite du grand parc royal, entre les planches d'un jardin d'essais et les champs d'une exploitation agricole? Je ne doute pas que cette installation soit favorable à toutes les recherches agronomiques.

Il y a enfin, en marge de toutes les conférences comme de tous les congrès, il y a des visites et des promenades; les organisateurs, soucieux de l'agrément de leurs hôtes, les conduisent en des lieux que la nature a bien dessinés et que l'art des hommes a embellis.

Vous rappelez-vous, lundi dernier, de quelle façon prenante Sir John Russel évoquait les charmes poétiques de la ville d'Oxford? Tous ses auditeurs, j'en suis sûr, ont éprouvé le même désir d'assister au prochain Congrès, en cette illustre cité.

Ce soir, vous êtes réunis au bord d'une terrasse, dans une vieille ville de France. Avant que la nuit tombe, vous avez pu découvrir l'horizon qui s'encadre dans la courbe du fleuve. Et vous savez aussi que c'est un lieu tout chargé d'histoire.

Puissiez-vous garder bon souvenir des quelques jours que vous aurez passés aux portes de Paris. En vous exprimant ce vœu, je vous renouvelle mes bons souhaits pour le succès de vos travaux et pour l'heureux achèvement de votre voyage.

SÉANCE DE CLÔTURE : 5 JUILLET 1934.

OBERBAURAT FAUSER.

Mesdames,

Messieurs,

J'ai le grand plaisir de remercier tous ceux qui se sont chargés de la préparation et de l'achèvement de cette séance. Je suis bien fâché de ne pas savoir assez bien le français pour pouvoir exprimer tous mes sentiments dans cette belle langue et je vous prie, Mesdames et Messieurs, de me permettre de continuer en allemand.

Meine sehr verehrten Damen und Herren! Die französischen Mitglieder der ersten Kommission und ihre Damen haben uns mit solcher Liebenswürdigkeit aufgenommen und uns den Aufenthalt in Versailles so angenehm gestaltet, dass wir uns vom ersten Augenblick an hier wohlgefühlt haben. Ich bin deshalb der Zustimmung aller ausländischer Teilnehmer der Tagung sicher, wenn ich unseren Gastfreunden den wärmsten Dank für ihr grosses Entgegenkommen und ihre vorbildliche Gastfreundschaft ausspreche.

Insbesondere gilt unser Dank den Herren Demolon und Rey, die den wissenschaftlichen Teil mit solch grosser Umsicht vorbereitet haben, sowie den Herren Berr und Lenglen, die als die Vorsitzenden des Organisationskomitees es ermöglicht haben, dass die Tagung einen solch glänzenden Verlauf nehmen konnte. Zu danken haben wir auch Herrn Burgevin, der uns sein schönes Institut zur Verfügung gestellt hat, ebenso Herrn Duriau und seinem Stabe, welche die ganze Kleinarbeit, die mit der Tagung verbunden war, in solch ausgezeichneter Weise durchgeführt haben.

Nicht unerwähnt darf ferner das Damenkomitee bleiben, das unter der umsichtigen Leitung von Frau Demolon unseren Damen solch genussreiche Tage bereitet hat.

Grossen Dank schulden wir weiterhin dem Vorsitzenden der ersten Kommission, Herrn Robinson, für die glänzende Leitung der Verhandlungen. Er kann auf den wissenschaftlichen Erfolg der Tagung stolz sein und ich erlaube mir, ihm hierzu Glück zu wünschen. Zu danken ist ferner Herrn Hissink, bei dem alle Fäden der Arbeit zusammenlaufen und der das Schiff der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft stets mit glücklicher Hand steuert. Dank gebührt endlich Herrn Schofield als Sekretär der ersten Kommission sowie den Berichterstattern und allen Herren, die durch ihre Teilnahme an den Verhandlungen deren Verlauf so anregend gestaltet haben.

Ich glaube, mit der Versicherung schliessen zu dürfen, dass die Tagung der ersten Kommission in Versailles allen Teilnehmern zeitlebens in angenehmster Erinnerung bleiben wird.

G. W. ROBINSON,

Président de la Première Commission.

Mesdames,

Messieurs,

Nous sommes arrivés maintenant à la fin de notre conférence et j'espère que vous en êtes aussi contents que moi. Nous avons eu des contributions très importantes concernant la physique du sol, et les discussions qui les ont suivis ont montré leur intérêt. Nous avons formulé des résolutions pour diriger nos travaux dans l'avenir. Il reste aussi des questions sur lesquelles l'état actuel de nos connaissances ne nous permet pas de formuler des résolutions définitives. Leur étude doit être énergiquement poursuivie dans l'avenir.

Je voudrais bien remercier tous ceux qui ont contribué aux communications dans les séances et aussi tous ceux qui ont participé aux discussions. Le temps me manque pour remercier les collègues français autant que je le voudrais pour leur vivante collaboration. Le succès de notre conférence, dont j'étais assuré dès le commencement, est indiscutable. Pour terminer, je voudrais remercier encore nos collègues français et étrangers et leur dire : au revoir en Angleterre.

STRASBOURG, LE 7 JUILLET 1934.

DISCOURS

DE

SIR E. J. RUSSELL,

Président de l'Association.

MESDAMES,

MESSIEURS,

J'ai maintenant le triste devoir de prononcer l'allocution de clôture de notre heureuse réunion. Au nom de tous les délégués je remercie M. Raymond Berr, Président du Comité de réception: Mme Raymond Berr, qui a présidé avec tant d'éclat et de charme au thé d'honneur — admirable fonction très appréciée par les Anglais; M. Préaud, délégué du Ministre, qui a honoré la Conférence de sa présence; M. Lenglen, Président du Comité d'organisation, qui ajoute un goût irréprochable à sa connaissance très étendue de la fertilisation des récoltes et qui d'ailleurs porte un nom bien honoré en Angleterre; et M. Demolon notre collègue distingué — un de ces hommes qui promettent peu et qui tiennent beaucoup; et qui est passé maître dans l'art de manier la phrase qui exprime le mieux sa pensée. Je remercie aussi les autres dames et messieurs des comités d'organisation et de réception.

Le grand succès de notre Conférence est dû à votre énergie inlassable, à votre don enviable d'organisation, à cette joie de vivre qui est votre héritage national.

Ces réunions sont parmi les événements les plus agréables de la vie. On y retrouve d'anciens amis, on y forme de nouvelles amitiés, on entend parler la langue française, cette belle langue qui sonne si douce à nos oreilles. Nous garderons toujours un souvenir précieux de ces jours passés avec tant de plaisir en France.

Nous remercions aussi la Société des Mines de potasse d'Alsace de leur charmante invitation à cette belle excursion et à ces banquets somptueux; pour moi c'est un grand plaisir de retrouver ici mon vieil ami M. Bruno.

Jusqu'aujourd'hui c'est de nom seulement que nous connaissions les mines d'Alsace. Elles prennent maintenant une réalité qui nous rappellera toujours ces jours agréables. La potasse, l'azote, le phosphore forment le trépied sur lequel on peut bâtir une agriculture stable. La France a assuré à ses enfants dans tous les siècles des sources abondantes de ces trois éléments. Nous admirons également l'exploitation parfaite et le développement de ces mines : autre exemple de l'activité française!

Cette excursion nous donne l'occasion de visiter un terrain classique, la ferme de Boussingault. Cela a été un des rêves de ma vie de voir cette ferme, où notre maître, le fondateur de la science agronomique, d'où naquit la science pédologique, a fait ses belles recherches. Certes il ne fut pas le premier à faire des expériences agricoles; il y en eut beaucoup au 18e siècle; mais c'est à lui que revient l'honneur d'y avoir introduit des méthodes statistiques et des idées quantitatives. Non seulement il fit des observations; mais il y ajouta toujours des mesures précises. Regardons seulement ses belles recherches (1838) sur l'assolement; les données statistiques qu'il en tira : tant de char-

bon, d'azote, de matière minérale dans l'engrais donné; tant de charbon, d'azote, de matière minérale dans la récolte. D'où vient la différence? La même précision de pensée caractérisait ses recherches sur les fonctions des feuilles des plantes, ses expériences entreprises pour découvrir le rapport existant entre le volume d'acide carbonique décomposé et celui de l'oxygène mis en liberté, pour rechercher s'il y a émission de gaz azote pendant cette décomposition, ou s'il y a assimilation de gaz azote par les feuilles. Ses investigations furent très diverses : il fit des analyses comparées des aliments consommés et des produits excrétés par une tourterelle, et aussi par un cheval soumis à la ration d'entretien. Ses études sur le sol furent les premières dans le domaine de la microbiologie du sol; on lit avec grand intérêt même aujourd'hui ses mémoires sur la nitrification de la terre arable, sur la fixation de l'azote atmosphérique dans la terre végétale, et sur la composition de l'air confiné dans la terre végétale. Toujours il mesurait aussi exactement que possible, et mesurer c'est connaître; il fut le premier à mesurer, et par conséquent il transforma l'art d'expérimentation du 18e siècle en une science exacte. C'est pour cette raison que nous le saluons aujourd'hui comme fondateur de notre science, et que nous visitons ces lieux sacrés avec des sentiments de vénération pour la mémoire d'un homme de génie et bienfaiteur de toute la race humaine.

Boussingault ne fut pas uniquement agronome. Il commença par faire des voyages d'exploration au sud de l'Amérique à une époque où le métier d'explorateur était fort dangereux, et il fit des découvertes très importantes. Ce fut seulement après son retour en France, et après son mariage avec Mlle Le Bel en 1832, quand il se trouva, avec son beau frère, Le Bel, prépriétaire des fermes de Pechelbronn et du Liebfrauenberg — fermes que nous allons visiter — qu'il commença ses expériences. Il apporta aux problèmes de l'agriculture la maturité intellectuelle dûe à sa venue tardive au sujet, et dans un âge où les loisirs abondaient il acquit cette connaissance précise et profonde que donne seule une méditation de longues années. C'est dommage qu'il faille de nos jours publier si rapidement, je voudrais bien voir dans chaque laboratoire, en évidence, le mot d'Alceste :

« Qui diantre vous pousse à vous faire imprimer? »

De cette patiente méditation Boussingault nous a légué des idées dont on ne saurait exagérer l'importance.

Paul Bourget nous dit que, dans la vie du cœur, il n'y a qu'une chose de réelle : c'est le rêve! je ne suis pas expert en la matière, mais nous savons tous que, dans le domaine de la science, la chose la plus réelle est l'idée féconde qui se déroule, qui, semblable à un petit ruisseau, croît toujours, devient une rivière abondante, et s'agrandissant continuellement s'épanouit en un grand fleuve, apportant à tout un pays les moyens de richesse et de bonheur.

« L'immortalité », écrit Renan, « c'est de travailler à une œuvre éternelle ». Certainement Boussingault atteignit cette immortalité, et nous qui le suivons humblement, si nous éprouvons quelquefois des déceptions, nous devons nous rappeler que, au cours de la science, aucune vérité ne se perd, aucune erreur ne se fonde.

En accomplissant ce pèlerinage nous remplissons le devoir que tout homme de science a envers ceux qui lui frayèrent la route; le devoir de leur garder un souvenir ému et reconnaissant.

Mesdames et Messieurs. Cette réunion si amicale et si agréable touche à sa fin, mais elle ne mourra pas; elle vivra dans notre mémoire; elle enrichira toujours notre vie; parce qu'il est vrai que, ce qu'il y a de plus beau et de plus durable dans la vie, c'est l'amitié.

TABLE DES MATIÈRES.

SÉANCE DU 3 JUILLET (Matin).

ANALYSE MÉCANIQUE ET QUESTIONS DIVERSES.

Rapports.

Discussions.

SÉANCE DU 3 JUILLET (Soir).

STRUCTURE DU SOL ET QUESTIONS DIVERSES.

Rapports.

DISCOURS ET ALLOCUTIONS.

Séance d'ouverture (2 juillet).

Banquet de Saint-Germain-en-Laye (4 juillet).

Séance de clôture (5 juillet).

Banquet final (Strasbourg, 7 juillet).



La ferme de Péchelbronn et le laboratoire (sur la droite) où Boussingault effectua ses premières recherches de chimie agricole, de 1836 à 1839, aidé par son beau-frère Le Bel. (Photo A. Bruso.)